

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электроснабжение с помощью гибридных установок в областях с низким ветровым потенциалом / Design of an autonomous wind-solar power supply system in areas with low wind potential

УДК 621.311.26.031

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Макаров А.М.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Муравлев И.О.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.экон.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Рахматуллин И.А.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____
(Дата) Рахматуллин И.А.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8Ч	Макарову Антону Михайловичу

Тема работы:

Электроснабжение с помощью гибридных установок в областях с низким ветровым потенциалом / Design of an autonomous wind-solar power supply system in areas with low wind potential	
Утверждена приказом директора ИШЭ	Приказ № 44-45/с от 13.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект электроснабжения, находящийся в поселке Богашево. Томская обл.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературы для корректного выбора технических и экономических методов исследования и последующих расчетов. Выбор оптимального способа электроснабжения объекта с учетом технических и экономических факторов. Исследование возникающих при работе опасных и вредных факторов; заключения по работе.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	Кандидат экономических наук, доцент Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Старший преподаватель Романова С.В.
Иностранный язык	Кандидат технических наук, доцент Егорова Ю.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Analysis of current conditions in the field of renewable energy; Environmental analysis for creation of power supply systems; Description of the consumer; Analysis of possible configuration of hybrid power supply; Mathematical simulation; Economic comparison of possible option of electric supply; Final decision making	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Муравлев И.О.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Макаров Антон Михайлович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования магистр
 Период выполнения 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.01.20	<i>Анализ текущего состояния альтернативной энергетики в России и в остальном мире</i>	5
11.02.20	<i>Анализ природного потенциала для использования возобновляемых источников энергии</i>	15
4.03.20	<i>Расчет баланса генерируемой и потребляемой энергии</i>	30
25.03.20	<i>Экономическая оценка каждого способа электроснабжения и анализ чувствительности к параметрам</i>	30
22.04.20	<i>Расчет транзитной составляющей в тарифе с учетом внедрения мероприятий по повышению энергетической эффективности и энергосбережению</i>	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Муравлев И.О.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Рахматуллин И.А.	к.т.н., доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8Ч	Макарову Антону Михайловичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	<u>13.04.02</u> <u>Электроэнергетика и</u> <u>электротехника</u>

Initial data for chapter «FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING»:

1. The cost of scientific research resources: material, technical, energy, financial, informational and human	Project budget 684 thousand rubles: The cost of purchasing equipment - 279 thousand rubles, the cost of a salary for a supervisor - 26 thousand rubles, the cost of a salary for a design engineer - 164 thousand rubles. etc.
2. The system of taxation used, tax rates, volumes of payments, discounts and loans	According to clause 3 of subclause 16 of Art. 149 of the Tax Code of the Russian Federation, this project is not subject to taxation. Based on Chapter 34 of the Tax Code of the Russian Federation, since 2016, the rate of 30.2% of the wage fund has been used to calculate contributions to extra-budgetary funds.

Problems to research, calculate and describe:

1. Project initiation	Project goals and results, project structure, assumptions and limitations, planning, budgeting, etc.
2. Economic model development	Calculation of initial investment, calculation of funds obtained from fuel savings, calculation of cash flows over 20 years
3. Determining the effectiveness of projects	Net Present Value Calculation and Sensitivity Analysis
4. Final decision making	Selecting and evaluating criteria, weighing the criteria and calculating the most appropriate solution

Graphic materials:

1. «Portrait» of the consumer
2. Competitive power of the project
3. SWOT matrix
4. Assessment of the prospects of a new product
5. Plan of investments. The budget for scientific and technical research

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К. ЭКОН. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Макаров Антон Михайлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8Ч	Макарову Антону Михайловичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электроснабжение с помощью гибридных установок в областях с низким ветровым потенциалом / Design of an autonomous wind-solar power supply system in areas with low wind potential	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является система электроснабжения в коттедже в Томской области
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) - правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Отклонение показателей микроклимата; превышение уровня шума; отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны; воздействие электромагнитного поля; повышенное значение напряжения в электрической цепи; острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования
3. Экологическая безопасность:	Незначительное воздействие на атмосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возгорание, возникшее вследствие короткого замыкания

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Макаров Антон Михайлович		

Abstract

Current research is focused on economic estimation of renewable energy efficiency in regions with low wind potential. The problem is that in some regions, such as Russian Federation, using of renewable energy sources are less than 1% and all produced electricity are generating by fossil fuels, because of specific environment. Because of this reason, there are few additional problems, such as exhaustibility of the resources, electricity price strongly dependent on resources price and environmental pollution.

The main purpose is to find an economically effective way to use renewable energy sources in specific regions. My thesis is based on example of residential building in Tomsk region, supplied with electricity using renewable energy.

In my diploma thesis I considered 5 different combination of electric supply and their estimated balance of energy consumption and generation by different power sources. In order to obtain the most relevant results, I these scenarios with different type of financing and evaluated them from technical, economical and customer point of view.

Keywords

Renewable energy sources, alternative energy, wind generator, PV cells, gasoline generator, cottage power supply, wind potential, solar potential, energy balance, economic evaluation, sensitivity analysis, managerial decision making

Contents

Introduction	1
1. Analysis of current conditions in the field of renewable energy sources	3
1.1. The state of renewable energy all around the world	4
1.2. The state of renewable energy in Russia	7
2. Environmental analysis for the creation of power supply systems	9
2.1. Wind potential analysis	11
2.2. Solar insolation analysis	17
2.3. Other renewable sources analysis	27
3. Description of the consumer	28
3.1. Formulation of the problem	28
3.2. Lighting	28
3.3. Heating system	29
4. Analysis of the possible configurations of hybrid power supply	34
4.1. Stand-alone wind generator	35
4.2. Hybrid wind and solar power supply	37
4.3. Wind, solar and gasoline generator	39
5. Mathematical simulation	41
5.1. Wind generator	41
5.2. Solar modules	46
5.3. Gasoline generator	51
5.4. Inverter	52
5.5. Batteries	53
6. Financial management, resource efficiency and resource saving	55
6.1. Project initiation	55
6.2. Project budgeting	60
6.3. Economic model development	67
6.4. Economic comparison of possible option of electric supply	72
6.5. Sensitivity analysis	77
6.6. Final decision making	82
7. Социальная ответственность	85
7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
7.2. Производственная безопасность	86
7.3. Экологическая безопасность	98
7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	99
Conclusion	105

List of abbreviations

AC	Alternating Current
ATS	Automatic Transfer Switch
AU	Astronomical Unit
CSP	Concentrated Solar Power
DC	Direct Current
DCF	Discounted Cash Flow
HPP	Hydraulic Power Plant
IEA	International Energy Agency
IEPP	Industrial Enterprises Power Plant
IES	Integrated Energy System
IRENA	International Renewable Energy Agency
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPP	Nuclear Power Plant
NPV	Net Present Value
PV	Photovoltaic
RES	Renewable Energy Sources
RPM	Rotations Per Minute
SPP	Solar Power Plant
TPP	Thermal Power Plant
UES	Unified Energy System
WPP	Wind Power Plant

Introduction

Nowadays one of the most urgent issues is electric power supply. In our modern world dominates the use of exhaustible energy sources. They possess higher efficiency than renewable sources, however electric power consumption increases on daily basis. Problem of energy exhaustion is unavoidable and should be solved sooner or later, because humanity cannot abandon use electrical power. Therefore, exhaustion problem becomes more valuable. Especially this issue is relevant in the regions that unavailable to supply with power network. Because only option to supply with electrical power there is to use independent generators, however prices for the fuel are growing on daily basis, but renewable energy become more and more accessible.

The main purpose is to find an economically effective way to use renewable energy sources in specific regions. Experience of other countries shows that every year the use of renewable energy sources become more efficient, and the energy they generate become more accessible. In my research I will design and analyze wind and solar power supply systems in the low wind regions on the Tomsk sample. Tomsk is a significant pattern with low wind potential and average number of sunny days no more than 150 per year. Additionally, renewable energy sources allow us decrease level of environmental pollution and improve ecological situation due to the fact that replacement of thermal power plants with renewable will reduce amount of carbon dioxide that humanity produce.

My work consists of four main parts. The first one is analytic part, including review of current condition in the field of renewables, environmental analysis for creation of power supply systems, and analysis of current condition of the electric power industry in Russia. It includes estimation of solar and wind potential in Tomsk region, review of the electricity prices on the market, estimate and analyze all possible options house electrical supply. The second part is descriptive, which is about description of the consumer and equipment. There I have included typical equipment

that customer will use in his house and equipment that will supply these house and detailed description of the equipment. The third part is a mathematical simulation and economic estimation. The last part of my work is about final decision making and a conclusion. These parts, that I provided here, are not the exact chapters, but it is the way, that I tried to follow.

1. Analysis of current conditions in the field of renewable energy sources

Renewable or "green" energy are produced from resources that are renewable, or inexhaustible, on a human scale. The basic principle of using renewable energy is to extract it from constantly occurring processes in the environment or renewable organic resources and provide it for technical use. Renewable energy is obtained from natural resources, such as sunlight, water flows, wind, tides, and geothermal heat, which are renewable. In other words, can be replenished naturally, as well as from biofuels: wood, vegetable oil, ethanol. [1]

1.1. The state of renewable energy all around the world

The development of renewable energy over the past 15-20 years has been going on according to a very optimistic scenario with a constant increase in installed capacity and share in the fuel and energy balance. The dynamics of the share of the use of various energy sources in the production of electricity is given in the table.

Table 1 – The dynamics of electricity production in the world due to various types of fuel in % of total production, based on data from [1]

Year	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Coal	37.22%	37.45%	38.63%	39.84%	40.09%	39.15%
Oil	11.13%	9.27%	7.78%	6.18%	4.52%	4.00%
Natural gas	14.71%	15.16%	17.78%	20.16%	22.38%	22.85%
Nuclear	16.91%	17.49%	16.69%	15.06%	12.75%	10.53%
Hydro	18.42%	19.10%	17.37%	16.43%	16.33%	16.35%
Renewable	1.60%	1.52%	1.75%	2.33%	3.92%	7.11%
Electricity generation [TWh]	11 900	13 329	15 518	18 377	21 616	24 400

As you can see, in recent years there has been a positive growth trend in the use of renewable energy sources. The increase in the installed capacity of renewable energy plants is also characterized by a corresponding increase in investment in the renewable energy industry.

Let us represent the amount of electricity generated by different sources for the last period in the form of a diagram.

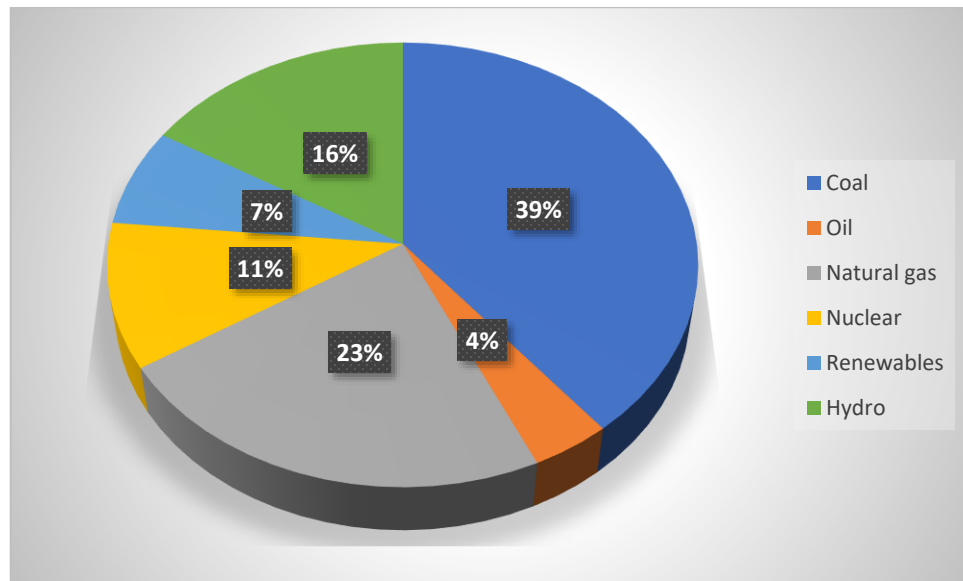


Figure 1. Electricity generated by different energy sources in the 2015 year [1]

Monitoring the development of renewable energy shows a significant annual increase in the installed capacity of power plants based on them. The total installed electric capacity is more than 2500 GW, which is over 20% of the total installed capacity of power plants in the world according to the source [2]

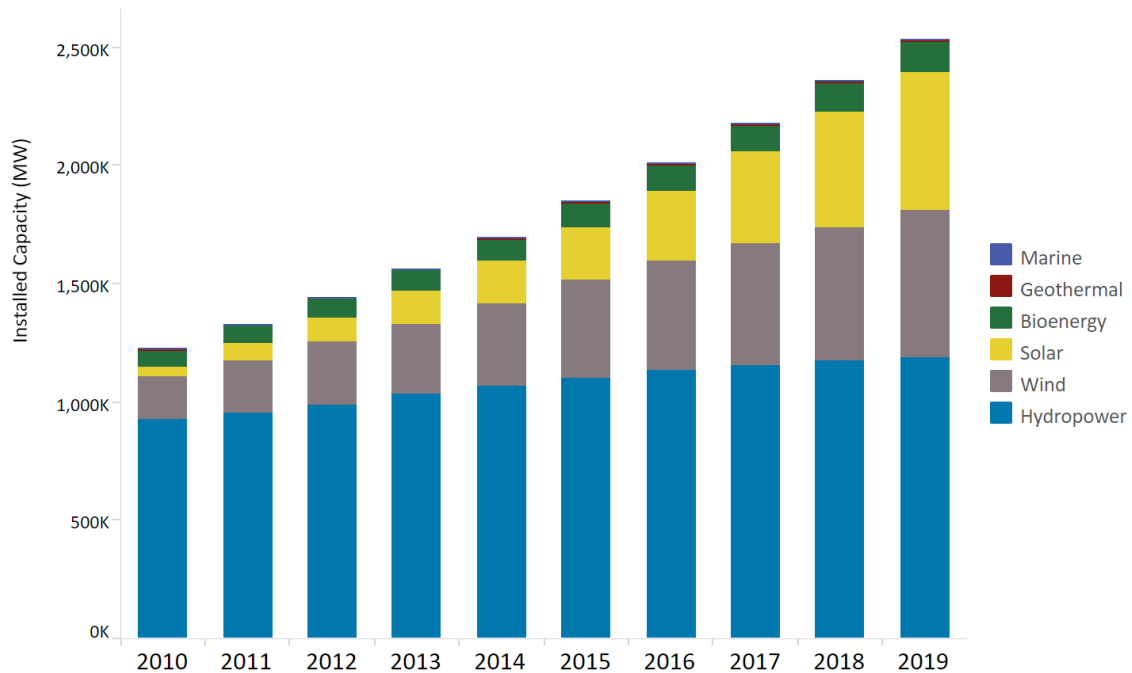


Figure 2. Worldwide installed capacity of Renewable energy sources from 2010 to 2019 years [2]

The main volume of renewable energy commissioned capacities in the world is formed by the commissioning of Small Hydraulics Power Plants, wind farms and solar power plants (Figure. 2). Moreover, usually in developed countries there are more SHPPs and solar power plants, and in the European Union - wind farms and, first of all, there are many of them in Germany and Spain. Among the developing countries, China is the leader, in which small hydropower is the most developed (although the "large" hydropower is in the lead in terms of input; in the lead, in which the small hydropower is most developed (although the "large" hydropower is in the lead in the world).

Renewable energy sources are expected to have the fastest growth in the electricity sector, providing nearly 30% of electricity demand in 2023 compared to 24% in 2017.

The greatest influence will be exerted on the total amount of energy produced by solar photovoltaic energy, then wind energy and bioenergy. It is not expected such a rapid increase in the share of renewable thermal energy is possible since it is expected that a steady increase in the total demand for heat will be caused by continuous economic growth and population growth. [1]

1.2. The state of renewable energy in Russia

RES development in Russia is proceeding at a very modest pace. Our country is seriously lagging behind in terms of both input and conversion technologies for various types of renewable energy. The volumes of installed capacity are shown in the form of a diagram in the figure below.

It can be noted that in Russia, existing energy systems were presented that use all the main renewable energy sources. The problem is that their level of development did not meet either the needs of the state or the real possibilities for the full use of renewable energy sources. Despite their rather long application, all existing systems remained at the stage of research and development, design development, testing, or repair after testing.

However, in 2003, Russia adopted the “Energy Strategy of Russia for the Period until 2020” (approved by Decree of the Government of the Russian Federation of August 28, 2003 No. 1234-r), which focuses on “increasing per capita energy consumption and energy potential countries, and the development of environmentally friendly power plants with a combination of centralized and decentralized energy supply.”

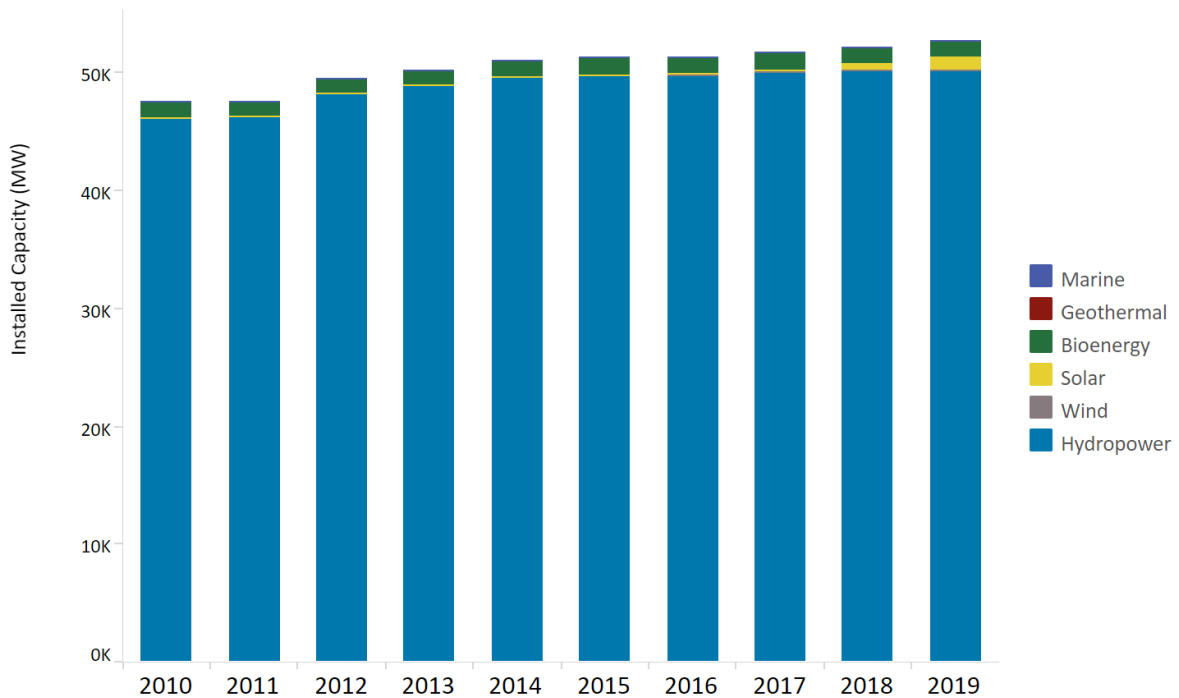


Figure 3. Installed capacity of Renewable energy sources in Russia from 2010 to 2019 years [2]

The result of this is an increase in the installed capacity of renewable energy sources, that you may see in figure 3.

Summary

All over the world, in recent years there has been an increase in installed capacity and generated electricity through renewable sources of energy and there is a partial replacement of fossil fuels. This reduces dependence on fossil energy resources and improves the environmental situation. However, it is not possible to completely abandon traditional energy in the nearest future due to a number of reasons, such as dependence on uncontrolled natural conditions, the necessity to maintain stability in the energy system, the inability to use renewable sources as backup sources, etc.

Statistics show that in Russia and in the rest of the world, with the exception of some countries, the following sequence in terms of installed capacity is, in decreasing order, respectively - Hydraulic power plants, Wind power plants, Solar power plants, and so on.

Russia on average lags behind many developed countries in the use of renewable sources. The reason is purely fuel energy inherited from the Soviet Union, with the exception of several large hydraulic power plants. In addition, the current government does not have a clear plan for the development of renewable energy. The installation of any renewable sources in Russia by the private sector for personal use does not provide for subsidies from the state, and there is also no possibility for individuals to sell electricity to the network.

All of the above factors negatively affect the motivation for the use of renewable energy sources in Russia by private individuals. Also, due to the low price of the electricity market, renewables are rarely seen as an alternative to traditional ones.

2. Environmental analysis for the creation of power supply systems

Tomsk Oblast is located in the southeast of the West Siberian Plain; it occupies an area of 316.9 thousand km². The territory under the jurisdiction of the municipality of Verticos rural settlement is 15.392 thousand ha. [3]

The climate in Tomsk region is sharply continental. Winter is harsh and long (average January temperature from -19 ° C to -21 ° C); summers are warm and short (average July temperature is + 17 ° C ... + 18 ° C). The growing season is 135-140 days. in the north, 150 days. on South.

Annual precipitation is 400-570 mm, of which 78-66% falls in liquid form, and the rest in solid form. The average height of the snow cover is 60-80 cm, snow is held in the north of 190-197, in the south - 176-182 days.

Seasonal permafrost spreads wide. The depth of soil freezing varies from 0.5-0.6 m in peat bogs to 3.5 m in sand, an average of 1.0-2.0 m. [4]

On average, in more than half of all days of the year, conditions are created in the city that facilitate the accumulation in the surface layer of exhaust gases from cars and harmful emissions from factory pipes.

The duration of stable snow cover is an average of 170 days. The average snow depth for winter is 60 cm. The severity of the climate in this period of the year is determined not only by low air temperature, but also by the combination of low temperature and significant wind speed, which leads to heat loss of people and rooms, creates a strong climate discomfort, which must be taken into account when heat engineering calculations. [5]

Gusty winds well ventilate the territory, but create additional dynamic loads on buildings and structures. The repeatability of significant wind speeds with negative temperatures reaches 28-35%, therefore, measures for wind protection of built-up areas are necessary. [6]

The discomfort of the environment is aggravated by snow tolerance - snow deposition can reach 350m³ per 1 m running. lengths. The average number of days with snowstorms is 51, with snowdrifts - 26 days. Snow carried during snowstorms and snowdrifts endangers access roads, city streets, industrial sites and other facilities. Special snow protection measures are required, carried out in conjunction with wind protection, including a combination of appropriate building techniques and green spaces.

For most of the year, air in terms of humidity is characterized as moderately dry and moderately humid, which is favorable from the point of view of the human heat perception. The average annual rainfall is 535 mm. In some years, precipitation may be below normal, but the lack of precipitation is insignificant, not more than 10%. About a quarter of the days in a year is kept uncomfortable relative humidity - 80% or more.

[6]. The number of days with a thunderstorm (average 27, maximum 42) is significant, which determines the need for lightning protection. [6]. The number of days with fogs, as well as hail, is on average small. [6]

2.1. Wind potential analysis

When solving the problems of evaluating the wind energy potential, its contribution to the energy supply system of a particular or other object and the ecology of the region, there is a need for a large amount of information over the long-term conditions. Wind is the most volatile and unstable meteorological element.

The presence of various obstacles on the surface (topography, vegetation, water spaces, man-made structures) has a very strong effect on the speed and direction of the wind. The influence of these obstacles is characterized by the roughness parameter of the underlying surface. The roughness of the underlying surface exerts influence not only on the surface of the earth, but also on sufficiently high altitudes. This feature makes it necessary to use information about the wind recorded in various points only taking into account the uniformity of the territory. If the location of the points and the weather stations under consideration is not different, then these weather stations can be considered as suitable. Data from meteorological stations can be applied to points located at a distance of up to 50 kilometers. [5] Under conditions of open terrain, the indications of two stations close to each other may differ depending on the location of the weather vane at the station, its degree of protection by trees and buildings located in the station area.

Over time, the conditions around the stations are also subject to changes and they must be taken into account when analyzing the wind regime and the degree of protection of the weather vane [7].

The average annual wind speed is defined as the arithmetic mean value obtained as a result of speed measurements at regular intervals over a given period. [7]

Average monthly and annual wind speeds over long periods of time are the main and initial data for compiling characteristics of the general level of wind intensity. According to the characteristics, it is possible to preliminarily judge about the prospects of placing wind energy equipment in the required area. When compiling the characteristics, it is necessary to remember that the wind speeds strongly depend on the surface roughness and that the data of weather stations may change over time with the change in the surrounding territory. This should be taken into account when comparing the average wind speeds and bring them to equal conditions [7].

In order to obtain reliable data on the average wind speeds of the territory, it is necessary to use significant measurement volumes for a sufficiently long time.

In our case, we can use the data from the meteorological database [8]. Due to the functionality of this service, we can use a pre-calculated average value for the period from 1.01.2015 to 23.11.2019. Take the data on the wind speed at the Tomsk airport, located in the village of Bogashovo.

To calculate wind speeds, observations from weather stations provided by site rp5.ru will be used.

The average wind speed is determined as the mean value obtained as a result of multiple measurements of wind speeds over equal time intervals for a given time interval (day, month, year), is calculated by the formula [7]:

$$V_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i, \quad (1)$$

where V_{av} – average wind speed, [m/s];

n is the number of time periods;

V_i - wind speed in a certain period of time, [m/s];

The calculated data is summarized in table 2.

Table 2 – Average monthly and annual wind speed, based on data from [8]

Year	2015	2016	2017	2018	2019	Average
	Wind speed, m/s					
January	0,67	2,21	4,60	4,27	4,47	3,25
February	4,42	3,33	4,83	2,94	4,35	3,97
March	4,18	3,75	4,03	4,55	4,40	4,18
April	3,90	3,09	4,95	4,94	4,38	4,25
May	3,54	3,52	4,82	4,13	4,38	4,08
June	2,99	2,90	3,05	3,63	3,20	3,15
July	3,05	2,98	2,34	3,03	2,90	2,86
August	3,66	2,74	2,54	2,71	2,69	2,87
September	3,04	2,56	3,25	3,45	3,82	3,22
October	4,65	2,64	3,58	5,00	4,57	4,09
November	3,73	3,76	4,12	5,25	4,80	4,33
December	5,16	4,71	3,97	3,28	-	4,28

For clarity, I present the data obtained on the figure 4.

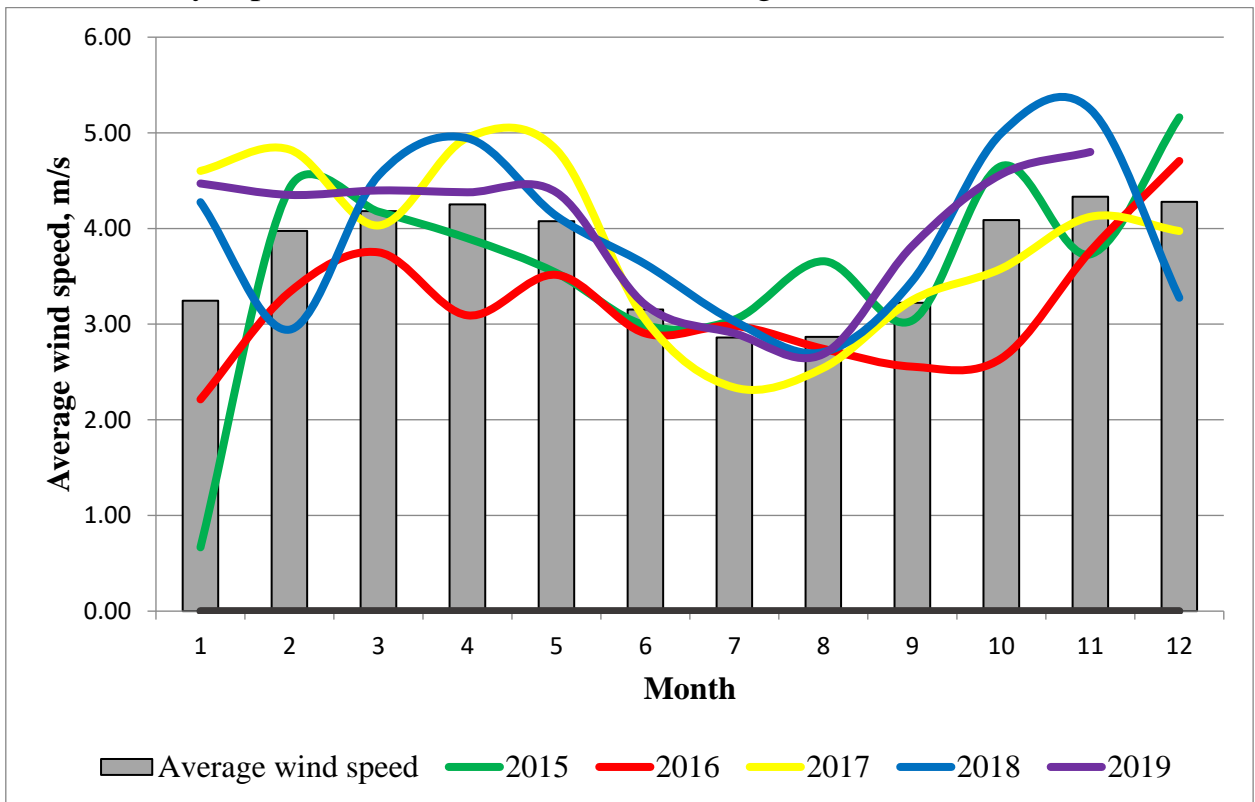


Figure 4. Average monthly and annual wind speed from 2015 to 2019 years

According to the calculations, the average wind speed at an altitude of 10-12 meters above the earth's surface, averaged over a 10-minute period, is $V_{av} = 3,71 \text{ m / s}$.

For a numerical estimation of the dispersion of wind speeds from the average value, the coefficient of variation of average speeds is used, which is determined by the following expression [7]:

$$C_v = \frac{S_v}{V_{av}} \quad (2)$$

where S_v is the standard deviation of the current wind speed from the average value.

Thus, from [8] S_v for the selected period, according to calculations, is $2,33 \text{ m/s}$. Following the formula (2), the coefficient of variation of average speeds will be

$$C_v = \frac{S_v}{V_{av}} = \frac{2,33}{3,71} = 0,63$$

It is known that the wind speed increases with distance from the underlying surface and the air flow becomes more stable. The degree of increase in wind speed with height is highly dependent on the roughness of the underlying surface. Approximately the wind speed at a height h can be estimated by the formula [15]:

$$V_H = V_M \cdot \left(\frac{h}{h_M}\right)^\alpha, \quad (3)$$

Where V_H – wind speed on the height H , [m/s]

V_M – wind speed on the height of the mast, [m/s]

h_M – height of the mast, [m]

α - coefficient related to the average wind speed at the height of the mast

Table 3 – Dependence of α on wind speed V_M [15]

V_M , [m/s]	0...3	3,5...4	4,5...5	5,5	6...11,5	12...12,5	13...14
α	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,35	0,13

I take a height equal to $H = 20\text{m}$. Then, according to formula (3), the average wind speed at a height of H will be

Table 4 – Recalculated wind speed at the height of 20m

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Average wind speed, [m/s]	3,25	3,97	4,18	4,25	4,08	3,15	2,86	2,87	3,22	4,09	4,33	4,28
Wind speed at a height of 20m, [m/s]	3,83	4,68	4,93	5,01	4,81	3,71	3,37	3,38	3,80	4,82	5,11	5,05

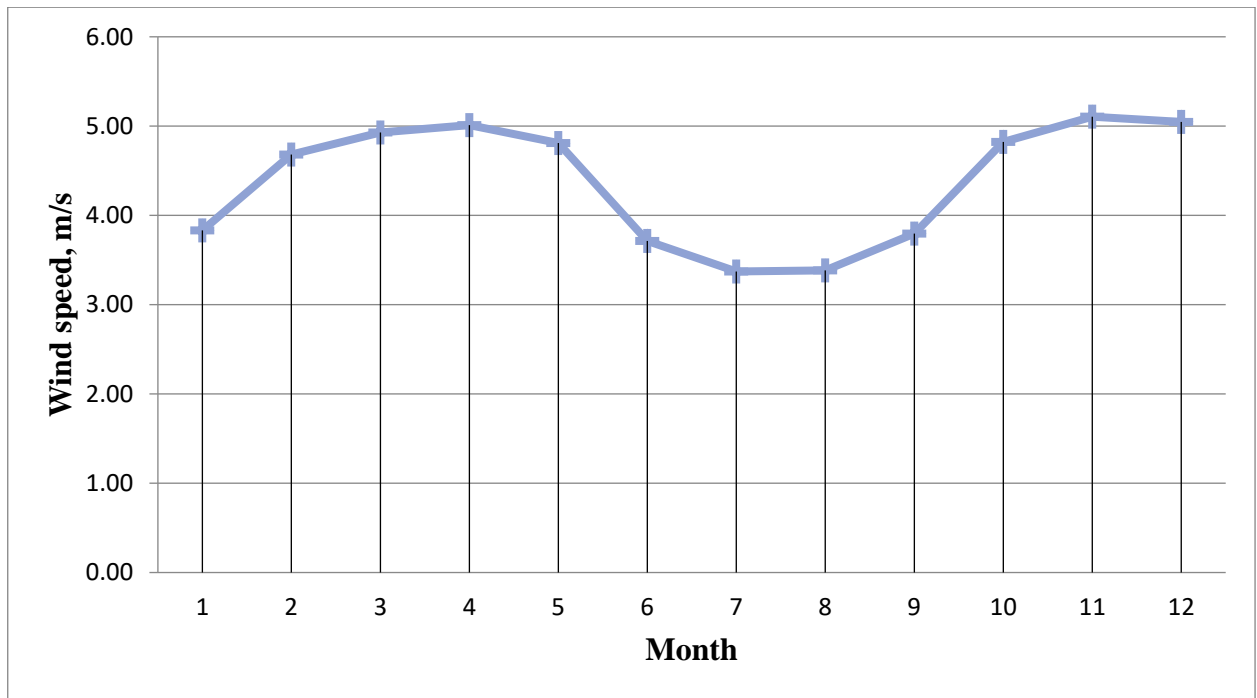


Figure 5. Wind speed at a height of 20m for 12 months

According to the obtained figure, I can conclude that the maximum wind speeds correspond to winter, autumn and spring season, with a minimum in the summer period.

In addition to calculations, it is necessary to depict a wind rose for the study area in order to know the prevailing wind direction.

Wind rose - is a graphical representation of the repeatability of wind directions. It is of great practical importance when using large-capacity wind turbines, where instead of slip rings, a power cable laid in a cable channel is used. In the process of operation, the gondola of such a wind turbine rotates around its axis, thereby unwinding the cable. The wind rose allows you to set the duration of the interservice period when maintenance personnel need to unwind and lay the cable.

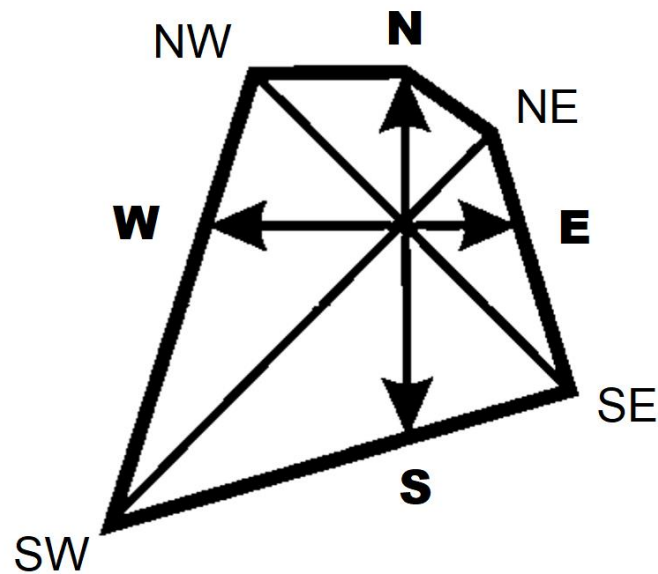


Figure 6. Wind rose for the Tomsk region. [7]

Correct accounting of wind directions allows you to most effectively locate wind turbines on the ground.

Analyzing wind repeatability, it must be remembered that from an energy point of view, it is much more important to know the energy characteristic (maximum possible output) of the wind in the selected directions than in which direction the wind prevails.

2.2. Solar insolation analysis

Since ancient times, main source of energy for our planet was the Sun. Solar energy produces the energy of wind, water, heat, biomass, as well as the use of rough and hard coal, oil and natural gas, but this is indirect energy and accumulated over thousands of years and millions of years. The energy of the Sun can be used directly as a source of electricity and heat.

“Insolation - is the quantity of potentially useful solar radiation, which falls on an illuminated surface. Solar insolation varies greatly from one point of the earth's surface to another. To calculate insolation of an area, several factors should be taken into

account: influence of seasons, for instance, in winter light level is lower and daylight hours are shorter; characteristics of illuminated terrain (some relief features may prevent illumination); local weather conditions (frequent cloudy weather, fogs and rains), etc.” [10]

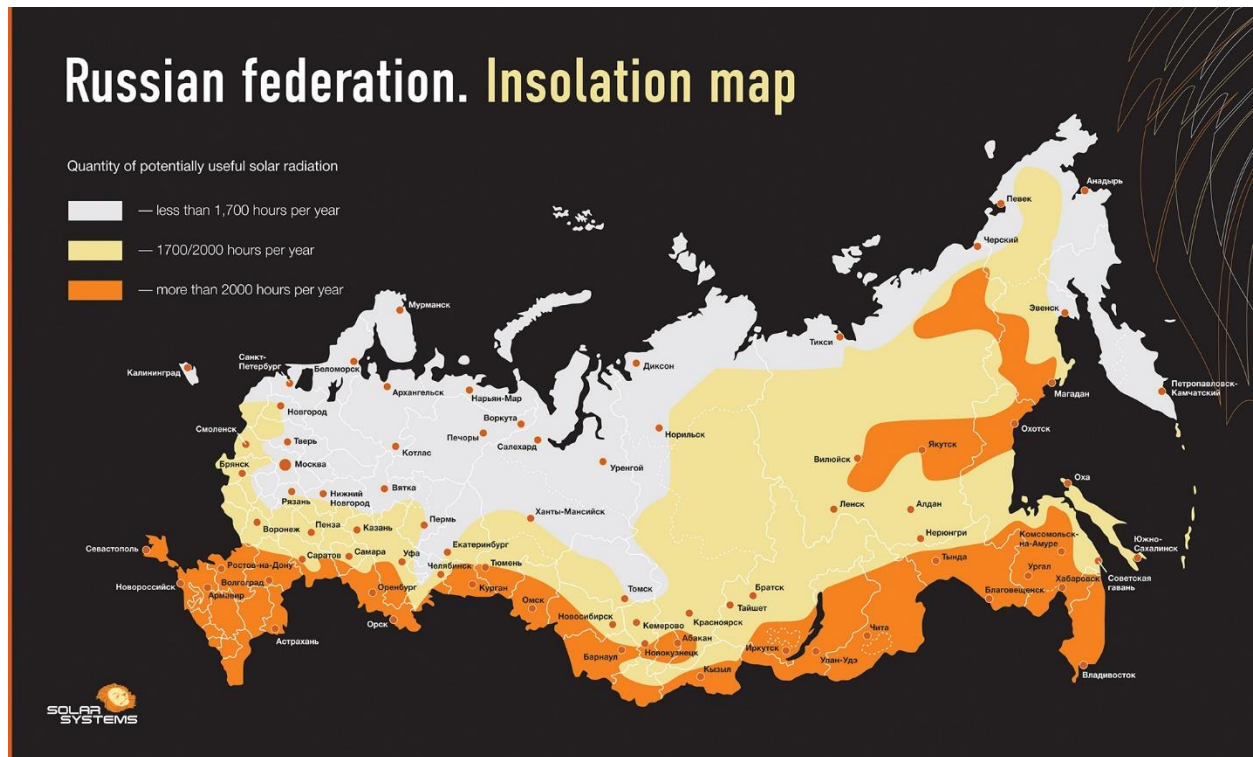


Figure 7. Russian Federation insolation map. [10]

Solar insolation is characterized by a wide spectral range - from radio waves to gamma radiation. At a distance of 1 AU from the Sun, the density of its radiation flux is $1360 \text{ W} / \text{m}^2$.

Also often is used definition of the solar constant on the surface of the Earth, which is equal to the value of insolation on the surface, located at the sea level and oriented on the Sun. [11]

It is convenient to define a surface solar constant—that is, a value of insolation on a surface that, at sea level, faces the vertical sun on a clear day. This “constant” has the convenient value of about $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ or “one sun.” At other than vertical, owing to

the larger air mass through which the rays have to pass, the insolation is correspondingly smaller. [12]

In order to assess the renewable energy potential of solar energy, it is necessary to determine the energy potential of solar insolation in a given region. The assessment is based on the data of the National Aeronautics and Space Administration (NASA). NASA data is used in the processed form in the RETScreen software. The data provided below is valid for facility located at coordinates latitude 56,5102, longitude 84,9546.

To determine the solar radiation incident on an oblique the investigated flat area in cloudy conditions, I use the expression [7]:

$$Q_{sl} = Q_{dir} + Q_{dif} \cdot [1 - (a + bn) \cdot n], \quad (4)$$

Where, Q_{dir} – direct solar energy incident on a sloped surface, $[W/m^2]$,

Q_{dif} – diffused solar energy incident on a sloped surface, $[W/m^2]$,

a – coefficient depending on the environment (land or sea) and the latitude of the place, $a = 0,383$ for Tomsk [relative units], according to [7];

b – coefficient, which in this case can be considered constant and equal to 0,38 [relative units], according to [7];

n – relative cloudiness (0 for cloudless weather, 1 for fully cloud weather) [relative units];

$$Q_{dir} = Q_{ort} \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

Where, Q_{ort} – direct solar energy incident on a surface orthogonal to beams of light, $[W/m^2]$,

θ – direct sunlight incidence angle [degrees], figure 8.

$$Q_{ort} = \frac{Q_0 \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha + c}, \quad (6)$$

Where, Q_0 – surface solar constant [W/m^2], $Q_0 = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, according to [12],
 $\sin \alpha$ – the angle between the vertical axis and the incident beams of light
[relative units], figure 8
 c – degree of transparency of the atmosphere [relative units], $c = 0,32$ [7]

$$Q_{dif} = Q_{dif \text{ hor}} \cdot [0,55 + 0,434 \cdot \cos \theta + 0,313(\cos \theta)^2], \quad (7)$$

Where, $Q_{dif \text{ hor}}$ – diffused solar energy incident on a horizontal surface, [W/m^2],

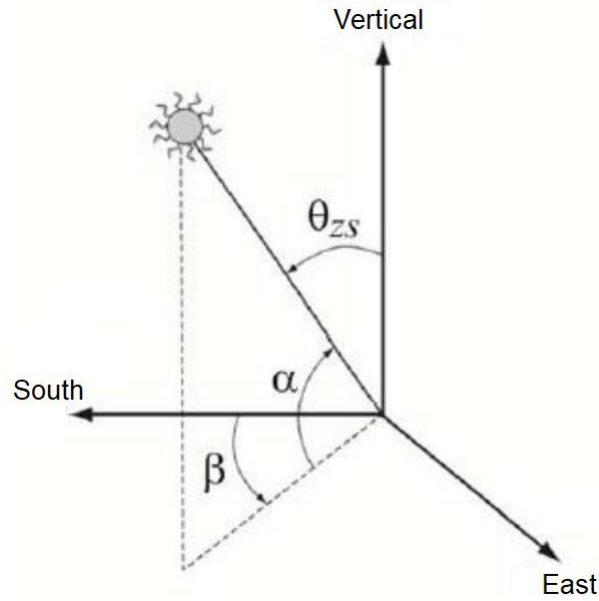


Figure 8. The coordinates of the Sun relative to a geographically oriented coordinate system [7].

$$Q_{ort} = \frac{1 \cdot \sin(35^\circ)}{\sin(35^\circ) + 0,32} = 0,642 \text{ [kW}/\text{m}^2],$$

$$Q_{dir} = 0,642 \cdot \cos 45^\circ = 0,4539 \text{ [kW}/\text{m}^2],$$

$$Q_{dif} = 0,69 \cdot [0,55 + 0,434 \cdot \cos(45^\circ) + 0,313(\cos 45^\circ)^2] = 0,6992 \text{ [kW/m}^2\text{]},$$

$$Q_{sl} = 0,4539 + 0,6992 \cdot [1 - (0,383 + 0,38 \cdot 0) \cdot 0] = 1,1531 \text{ [kW/m}^2\text{]}$$

Other months are provided in the table below. Data in table 5, column 2 provided by NASA database in software RETScreen, next columns are calculated by formulas above.

Table 5 – Values of solar radiation in Tomsk. Based on data from RETScreen software.

Month	Daily average solar radiation, horizontal, [kWh/m ² /day]	Daily average solar radiation, sloped, [kWh/m ² /day]	Monthly solar radiation, horizontal, [kWh/m ² /month]	Monthly solar radiation, sloped, [kWh/m ² /month]
December	0,46	0,92	14,26	28,52
January	0,69	1,15	21,39	35,75
February	1,59	2,07	44,52	57,82
Average value per winter season	0,91	1,38	26,72	40,70
March	2,94	3,43	91,14	106,43
April	4,29	4,80	128,7	144,04
May	5,48	6,01	169,88	186,22
Average value per spring season	4,24	4,75	129,91	145,56
June	5,79	6,32	173,7	189,64
July	5,8	6,33	179,8	196,28
August	4,55	5,06	141,05	157,01
Average value per summer season	5,38	5,91	164,85	180,98
September	2,83	3,32	84,9	99,65
October	1,58	2,06	48,98	63,71
November	0,83	1,29	24,9	38,85
Average value per autumn season	1,75	2,22	52,93	67,40

As you can see in the table 5, the maximum values of solar energy correspond to the spring and summer season. In order to plot the values of solar energy, it is necessary to know daylight duration, which is provided in table 6.

Table 6 – The average monthly daylight duration based on data from [13].

Month	Sunrise	Sunset	Daylength
December	9:29	16:48	7:19
January	9:54	16:52	6:58
February	9:17	17:50	8:33
Average per winter season	9:33	17:10	7:36
March	8:13	18:52	10:39
April	6:51	19:58	13:07
May	5:35	21:00	15:25
Average per spring season	6:53	19:56	13:03
June	4:39	21:57	17:18
July	4:34	22:12	17:38
August	5:21	21:30	16:09
Month	Sunrise	Sunset	Daylength
Average per summer season	4:51	21:53	17:01
September	6:22	20:16	13:54
October	7:22	18:56	11:34
November	8:28	17:38	9:10
Average per autumn season	7:24	18:56	11:32

It is necessary to build sinusoidal plot, in the range of angles from 0 ° to 180 ° (sunrise = 0 °, sunset = 180 °), so for each hour of solar activity I have to calculate the angle, in accordance with the number of hours of the day. To calculate the power of the proposed photovoltaic installation (PMT), I use the formula:

$$P_{PV} = \eta \cdot \lambda \cdot S, [\text{kW}] \quad (8)$$

Where η – efficiency of PV installation [relative units], let assume $\eta = 0,15$;

λ – solar radiation, $[\text{kW}/\text{m}^2]$;

S – area of solar panel, $[\text{m}^2]$, let assume $S = 1\text{m}^2$;

Average winter daylength is 7 hours 36 minutes, when divided into equal intervals, I obtain that every minute the angle of the sun changes by 0,3939 degrees. The same way I can calculate generated power for each season. Let us build the tables and provide them in appendices.

According to the data in appendices 1 - 4, I build seasonal plots of the generated active power, figure 9.

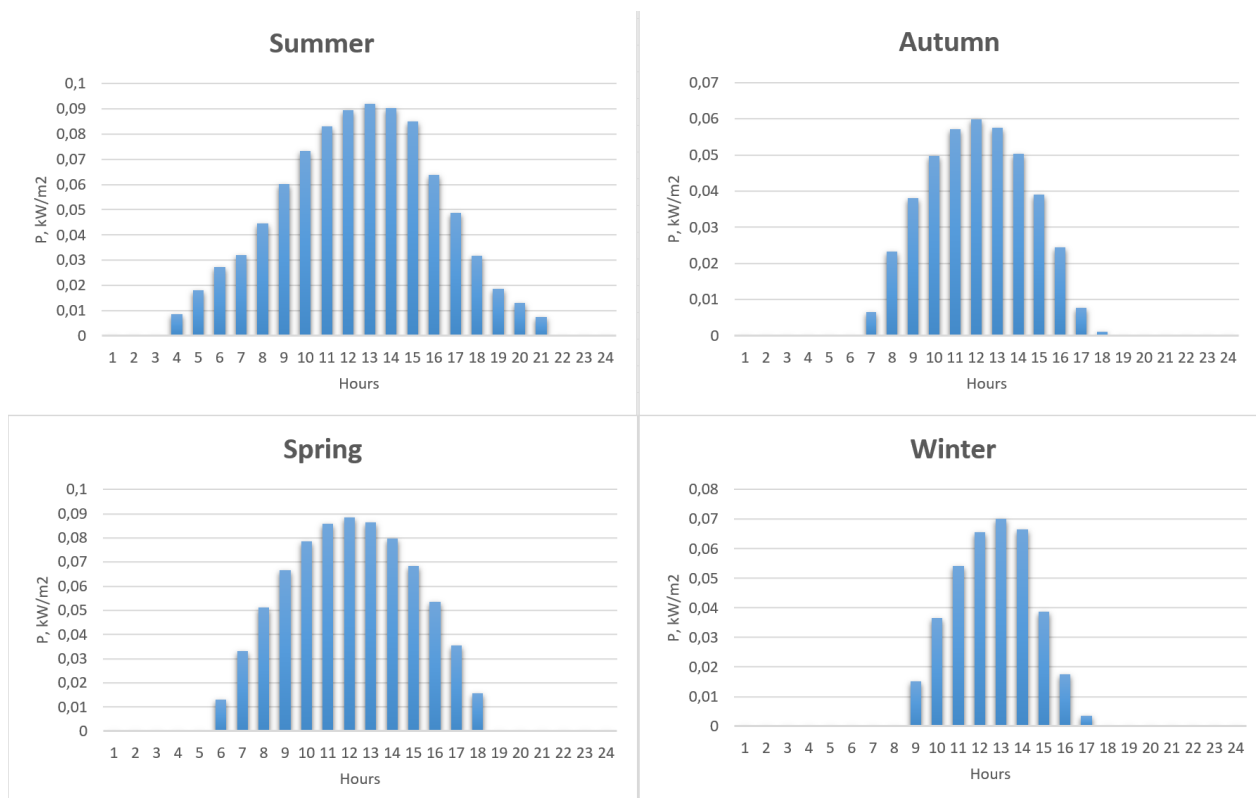


Figure 9. Seasonal plots of the generated active power

2.3. Other renewable sources analysis

Hydropower is the most used form of renewable energy in Russia, and there is large potential in Russia for more use of hydropower. Russia has 102 hydropower plants with capacities of over 100 MW, making it fifth in the world for hydropower production. It is also second in the world for hydro potential, yet only 20% of this potential is developed. Russia is home to 9% of the world's hydro resources, [16] mostly in Siberia and the country's far east. At the end of 2005, the generating capacity from hydroelectric sources in Russia was 45,700 MW, and an additional 5,648 MW was under construction.

The World Energy Council believes that Russia has much potential for using its hydro resources, with a theoretical potential of about 2,295 TWh/yr, with 852 TWh being economically feasible. [17]

Although hydropower is widespread in Russia and climatic condition suit to build hydropower plant, but the main problem that this is not reasonable to construct whole power plant in order to supply single house. Thus, I will not consider this option in the future.

3. Description of the consumer

3.1. Formulation of the problem

Bogashevo - the village where the considered cottage is located. It is inaccessible to the central power supply from the electrical network. This is one of the main reasons why land and houses here can cost up to 40% cheaper than similar ones in villages with access to the electric network. I chose this particular village for consideration for a number of reasons. Firstly, the price of land and houses. Thus, I do not need to optimize consumption to the minimum possible and I can consider it as a house with similar electrical appliances that could be in a cottage powered by an electric network, because of saving on land and cottage cost. Secondly, this village is located in an area with low wind and solar potential, which is the main issue of my work. And the last, but not least, is a personal intention to buy a cottage in this village. It is necessary to note that here I tried to include not only the most necessary electrical appliances, but also some elements of luxury, since this cottage is not considered as a refuge, but as a permanent residence, with slight excesses.

In order to define exact structural scheme, I have to first describe the consumer. Let assume that I supply cottage house with total area 150 m². My cottage will consist of: Kitchen, Living room, 2 Bedrooms, Children's room and 2 Bathrooms. There are few appliances that possess not so clear electricity consumption needs an additional investigation.

3.2. Lighting

This part needs additional investigation because each room has its own area and its own requirements to the lighting.

Let us build table with required lighting according to sanitary standards of daylighting and artificial lighting. [SP 52.13330.2016 Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-05-95* (s Izmeneniem N 1)] assuming LED bulbs efficiency = 60 [lm/W] [40].

Table 7 – Lighting nominal power calculation

Room	Area [m ²]	Lighting requirements [lx]	Required light flux [lm]	Nominal power [W]
Kitchen	18	150	2700	45
Living room	48	150	7200	120
Bedroom 1	20	150	3000	50
Bedroom 2	20	150	3000	50
Children's room	22	200	4400	75
Bathroom 1	14	100	1400	25
Bathroom 2	8	100	800	15
Total				380

3.3. Heating system

This part needs additional investigation because it is necessary not only for electric supply problem, but also for general house description.

According to the standard [GOST R 51617-2000. Zhilishchno-kommunalnye uslugi. Obshchie tekhnicheskie usloviya] allowable temperature values for residential buildings are in the range of +18° C - 25° C depending on the type of room. In living

rooms, the temperature should not be lower than $+18^{\circ}\text{C}$, and in the bathroom - not lower than plus 25°C .

So, for heating of the house, I decided to install wood boiler because of due to a number of advantages:

- Low cost
- Operational and environmental safety
- Small sizes
- Quick installation
- Noiselessness

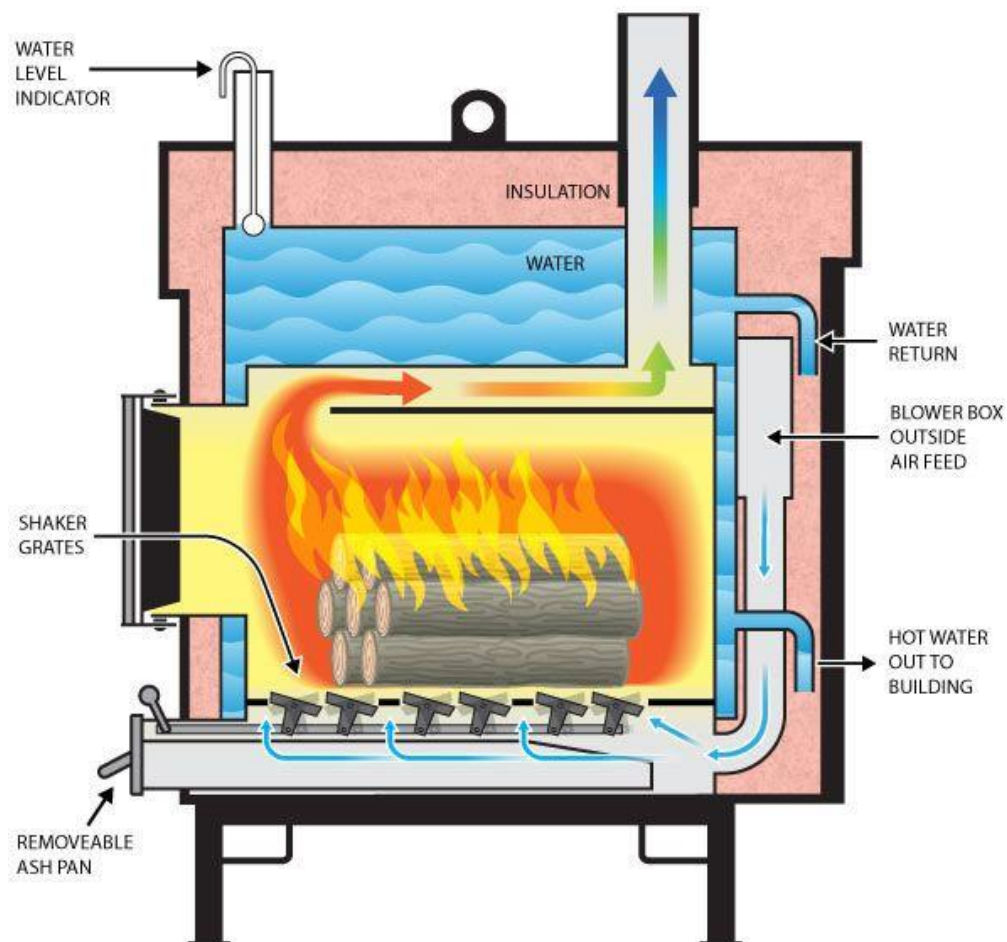


Figure 10. Cottage heating system

According to [41] we can find wood boiler heat power as follows:

$$W_{boiler} = \frac{S \cdot W_{spec}}{10}, \quad (9)$$

Where W_{boiler} – required boiler power,

S – cottage area,

W_{spec} – specific power of the device per 10 m^2 , which will be 1,5 kW for Siberia

So thus,

$$W_{boiler} = \frac{150 \cdot 1,5}{10} = 22,5 \text{ kW},$$

Also, I have to design table with installed electrical appliances and their nominal power in order to find consumed power. To do that I use common appliances for such area.

Table 8 – Appliances and their nominal powers installed in the cottage

Room	Area, [m ²]	Installed electrical appliances	Nominal power, [kW]
Kitchen	18	Electric stove	8
		Fridge	0,5
		Dishwasher	2,2
		Lighting	0,045
		Microwave	1
		Ventilation	0,2
		Kettler	1,5
		1 Socket x 16 A; 4 Sockets x 6 A	0,5
Living room	48	Electric fireplace	2
		Air conditioning	4
		TV	0,3
		Lighting	0,12
		10 Sockets x 6 A	1
Bedroom 1	20	Lighting	0,05
		Computer	0,3
		4 Sockets x 6 A	0,4
Bedroom 2	20	Lighting	0,05
		Computer	0,3
		4 Sockets x 6 A	0,4
Children's room	22	Computer	0,4
		Stereo system	0,2
		Lighting	0,075
		4 Sockets x 6 A	0,4
Bathroom 1	14	Jacuzzi	2,5
		Ventilation	0,15
		Lighting	0,025
		4 Sockets x 6 A	0,4
Bathroom 2	8	Washing machine	2,2
		Ventilation	0,15
		Lighting	0,015
		4 Sockets x 6 A	0,4
Other	-	Gas boiler	0,15
		Water supply system	1,1
Total	150	-	31,03

Now, when I defined total nominal power, I should define daily consumption for the whole year. It is necessary because I cover all month's load.

Table 9 – Monthly consumption for the whole year

Month	Consumption [kWh]
January	3254,93
February	2966,19
March	2944,93
April	2849,94
May	2944,93
June	2764,56
July	2856,71
August	2856,71
September	2849,94
October	2944,93
November	2849,94
December	3254,93

Detailed table with all type of appliances consumption are provided in appendix 6.

Difference between months are not significant because there are almost no seasonal loads expect for air conditioning. Also, during winter months, I spend more for heating, but it is not significant because I use gas boiler for heating my house.

During some hours the power supply system will be overloaded and underloaded sometimes. This fact means that I need to consider variant with integrated battery

storage system or backup power supply system, in order to cover all the graph with energy.

4. Analysis of the possible configurations of hybrid power supply

Since the nearest electric power line is at a distance of about 30 km, the variant of electric supply from grid is excluded, due to its high cost and landscape features.

So thus, there are several configurations of hybrid power supply with renewable energy source. Most of them are a combination of renewable energy source and gasoline generator. The gasoline generator provides consumers with energy when there is lack of energy from RES (for example the wind is weak for wind power plant or at night for photovoltaic power plant). Also, the configurations include storage battery. It keeps energy in case when the power plant generates more power than consumer needs.

4.1. Stand-alone wind generator

Wind generator is an installation that uses wind power to produce electrical energy. Usually, wind generators are made of tower and blades.

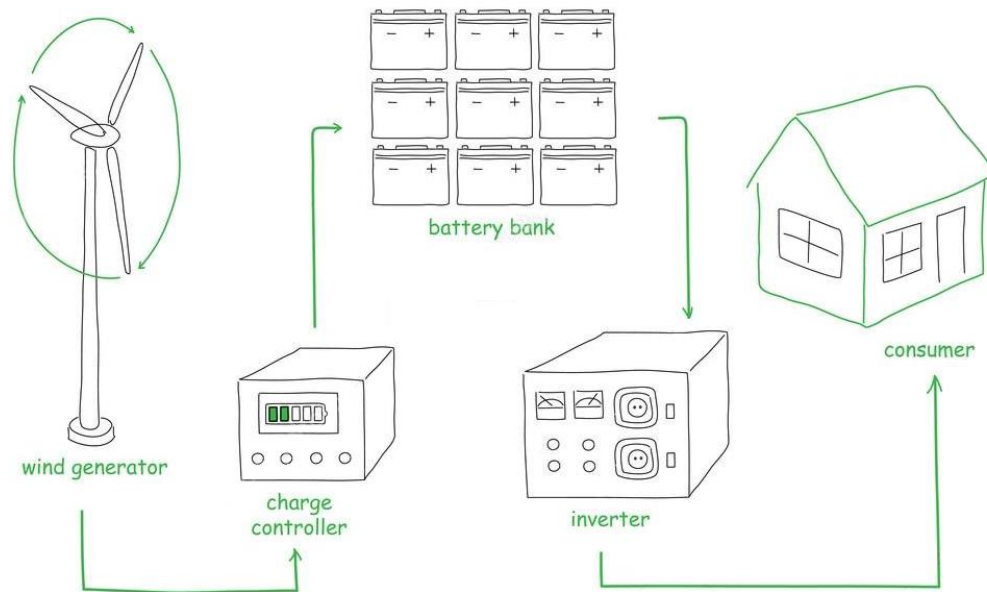


Figure 11. Stand-alone wind generator [20]

Due to the climate characteristics of Western Siberia, and in particular the Tomsk Region, it will be advisable to consider low-speed wind generators. Low-speed generator is considered to be powered by wind if the blades rotate along the vertical axis. Achieving low speed contributes to a high number of wings.

In order to operation of the rotor of a vertical windmill, the effect of magnetic levitation is used, which allows it to actually soar in the air. The use of rare earth magnets allows us to compensate the force of gravity, and special automated systems hold the mechanism at the desired position. This approach makes it possible to start

spinning the rotor with very low wind gusts (from 0,17 m / s). Reducing the number of mechanical parts significantly increases the reliability and durability of the entire structure, and also positively affects acoustic comfort (noise level up to 20 dB). [20]

Vertical type wind turbines require almost no maintenance. In comparison with the classic horizontal generator, which will require maintenance every six months, this is a significant advantage.

The requirements for installing a vertical wind turbine do not contain statements on noise insulation or the minimum distance to residential buildings. Silent operation is achieved through the use of the effect of magnetic levitation, which allows to nullify almost all vibrations and achieve a noise load of less than 20 dB. The tower of the windmill can even be installed on the roof of the house, as the generator is almost silent.

One of the main disadvantages of a vertical wind turbine is its low efficiency in comparison with a horizontal wind generator. Efficiency is in the range 15-25%, but it is lower than horizontal wind turbines, which efficiency is 25-35%. [20]

The vertical wind generator is a rather complicated design, which negatively affects the weight, and this, in turn, makes it difficult to lift the device to a great height. Because of this, problems arise when it is catching the wind, since strong wind gusts are most often observed at high altitudes.

4.2. Hybrid wind and solar power supply

This type of generation is a hybrid system of accumulator inverter type, operating in the complex as on renewable natural energy resources, which for mankind are wind and solar radiation energy.

Combined power systems that use wind and solar energy at the same time have several advantages over stand-alone wind or solar installations.

For conditions, for example, in Russia, and especially in its middle lane, wind speed in summer is relatively small, but there is a lot of sun and long daylight hours. While in winter, on the contrary, there are a lot of strong winds and less sunlight. Since the peak of electricity generation in wind and solar systems occurs at different times of the day and year, such a combined system, accordingly, produces more energy.

Such a hybrid electrical installation for generating electricity is capable of ensuring the stability of its supply to the network of small cottage villages, country houses and a small private business.

The main element in the system is a wind generator that produces electrical energy and charges batteries. To avoid the dependence of the system on the absence or availability of energy resources and to ensure its greatest efficiency and stability, we supplemented the system with photovoltaic modules that generate solar energy and charge its batteries.

This hybrid installation is able to function without an electrical network. In the absence of sun and wind, the system will supply energy from the batteries.

The system should have several controllers - for PV modules, and for a wind generator - electrical devices for monitoring and controlling the battery charge, and inverters - for providing 220 V AC for consumers of electric energy from direct current batteries.

MPPT charge controller for PV modules increases by more than 30% the energy flow from PV modules to the battery, and performs the tasks of 2 devices: battery charge control and power amplifier of PV modules. [21]

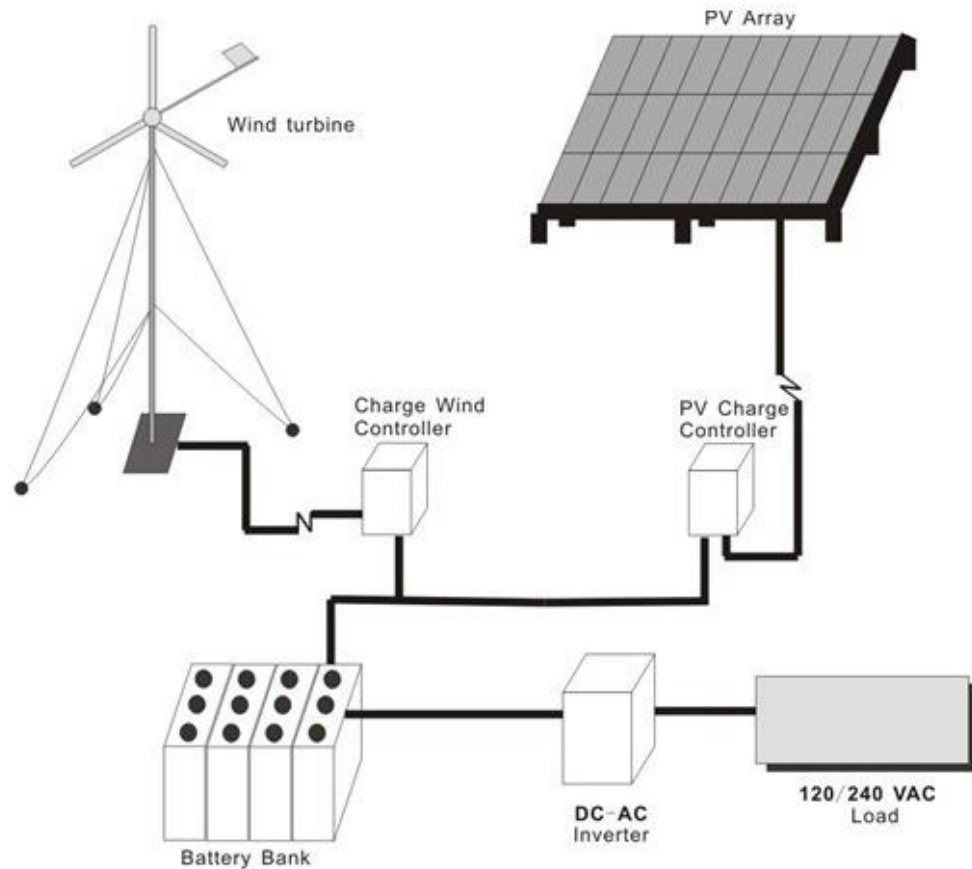


Figure 12. Wind and solar hybrid power supply system [22]

4.3. Wind, solar and gasoline generator

This is also hybrid type of power supply, working almost the same way as previous one, but at the time when there is no wind, sun and batteries are empty, gasoline generator starts to operate. Such time calls “Deficit time”, when power I need to consume are higher, than power the system can produce, without gasoline generator. Period of time, when wind turbine and PV arrays can cover all the consumption, calls “Normal time”. In this scheme specialized ATS controller is used, that monitors under / over voltage, under / over frequency and voltage unbalance and forward a start command on gasoline generator, if it is necessary.

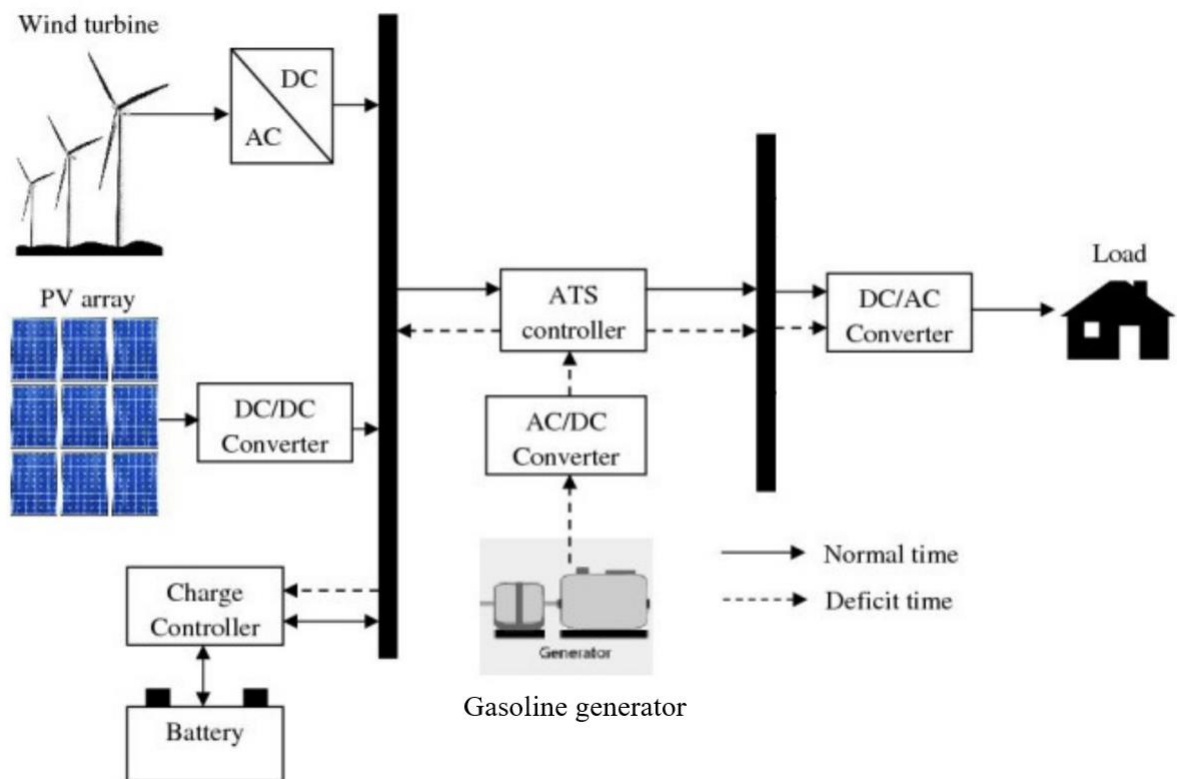


Figure 13. PV, wind and gasoline hybrid power supply system [23]

Due to the load is residential house, with permanently working appliances (not all of them, but part), it is very important to have backup generator, because in sharply continental climate zone often occurs windless and cloudy weather and batteries could not cover this period. It is obvious, that for this purpose the best option is third system, since it is the most reliable one, but for completeness it is necessary to consider all these options in simulation.

5. Mathematical simulation

The effectiveness of the projected object directly depends on the correct choice of equipment. Features of the facility location impose additional requirements for the operation of equipment. Harsh climatic conditions, a large amount of precipitation, and a significant temperature difference make the use of conventional equipment ineffective and impossible. Thus, before make simulations, I have to select suitable equipment, which can operate in such severe weather.

5.1. Wind generator

First of all, I choose wind generator. Since I have to cover load of 30,51 kW, capacity of the generator must be higher or equal. Due to the low wind speed, the best solution would be to use “Condor Air” 30 kW wind generator. The low starting speed of wind of 2,5 m/s and the low nominal speed of wind of 8 m/s, the most fully corresponds to the wind potential in the considered region.

Condor Air is a high-tech horizontal type wind generator developed by the “Energy Decision” company and adapted to work in Russian climatic conditions. Operational temperature range: from -40 to +50 degrees in the normal version and up to -55 in the version for low temperatures. The price of the wind generator includes a **charge controller** and a **mast**. [24]

Short description of the generator is provided in table below; full description is in the Appendix 7.

Table 10 – Short description of the wind generator [24].

Wind wheel diameter	13 m
Blade height	6 m
Nominal RPM	35-40
Output voltage	170-240 V
Nominal power	30 kW
Maximum power	32 kW
Starting wind speed	2,5 m/s
Nominal wind speed	9 m/s
Operational wind speed	3 – 20 m/s
Generator type	Three phase permanent-magnet generator
Generator frequency	0 - 50 Hz
Output current	Alternating
Nominal current	100 A
Maximum current	110 A
Cost	26000 EUR

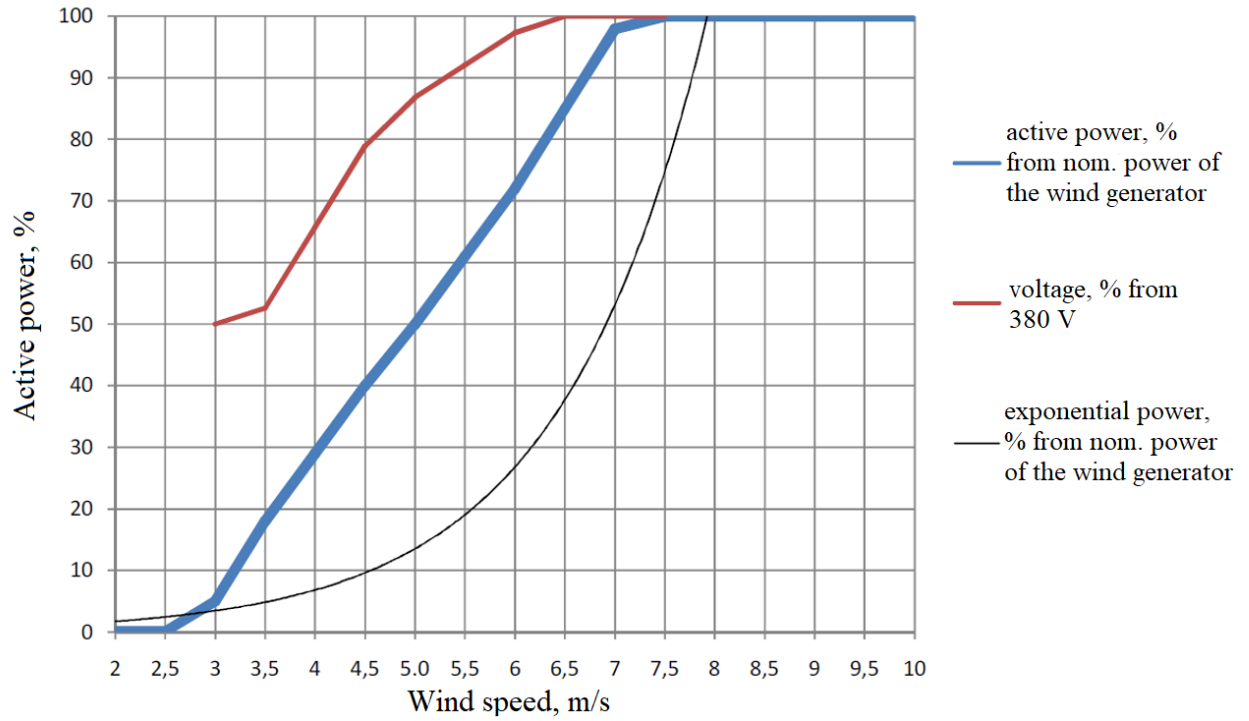


Figure 14. Dependence of active power on wind speed [5]

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_{gen} \quad (10)$$

Where ξ – wind energy using coefficient,

R – rotor radius, [m]

V – wind speed, [m/s]

ρ – air density, [kg/m³]

η_{rg} – reduction gear efficiency

η_{gen} – generator efficiency

Let's calculate the amount of energy generated by a single wind generator over a period of months to a month, using formula 12 [7].

Table 11 – Amount of generated energy per month for the whole year

Month	W, [kWh/month]
January	980,35
February	1786,91
March	2085,73
April	2192,28
May	1939,59
June	892,61
July	668,08
August	675,11
September	953,45
October	1953,89
November	2318,43
December	2239,04
Total	18685,48

I present the obtained results as a histogram to visualize them.

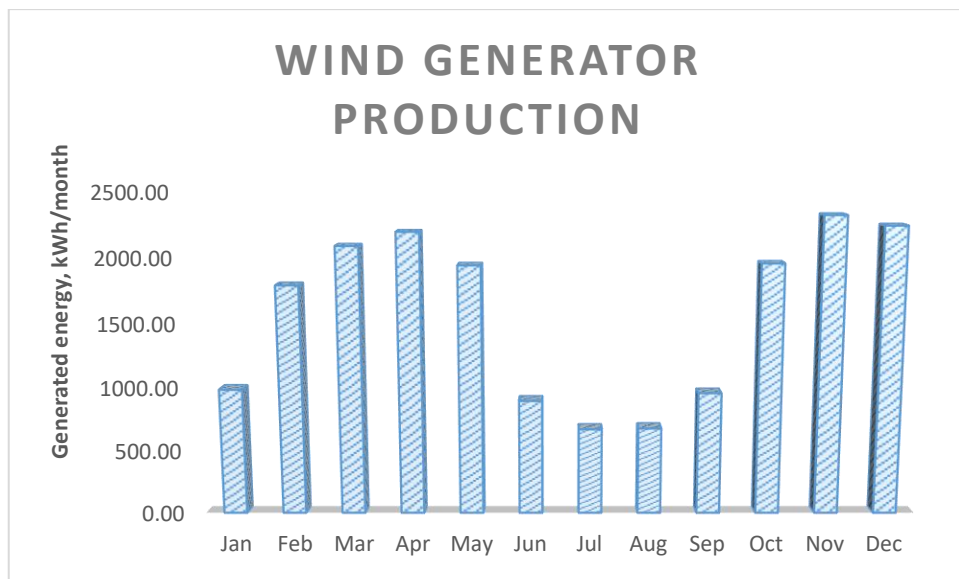


Figure 15. Amount of generated energy per month for the whole year

Let's calculate the balance of generated and consumed energy for the whole year using formula (13) in order to determine deficiency of energy in system.

$$\Delta W = W_g - W_c, \quad (11)$$

Where, W_g – Generated energy, [kWh/month]

W_c – Consumed energy [kWh/month]

Table 12 – Balance of generated and consumed energy for the whole year

Month	W_g , [kWh/month]	W_c , [kWh/month]	W_{5xg} , [kWh/month]	ΔW , [kWh/month]
January	980,35	3254,938	4901,74	1646,80
February	1786,91	2966,1935	8934,53	5968,34
March	2085,73	2944,938	10428,67	7483,73
April	2192,28	2849,94	10961,42	8111,48
May	1939,59	2944,938	9697,97	6753,03
June	892,61	2764,56	4463,05	1698,49
July	668,08	2856,712	3340,40	483,69
August	675,11	2856,712	3375,56	518,85
September	953,45	2849,94	4767,25	1917,31
October	1953,89	2944,938	9769,45	6824,51
November	2318,43	2849,94	11592,15	8742,21
December	2239,04	3254,938	11195,19	7940,25
Total	18685,48	35338,6875	93427,38	58088,69

Let's build the graph to visualize the deficiency of energy in system.

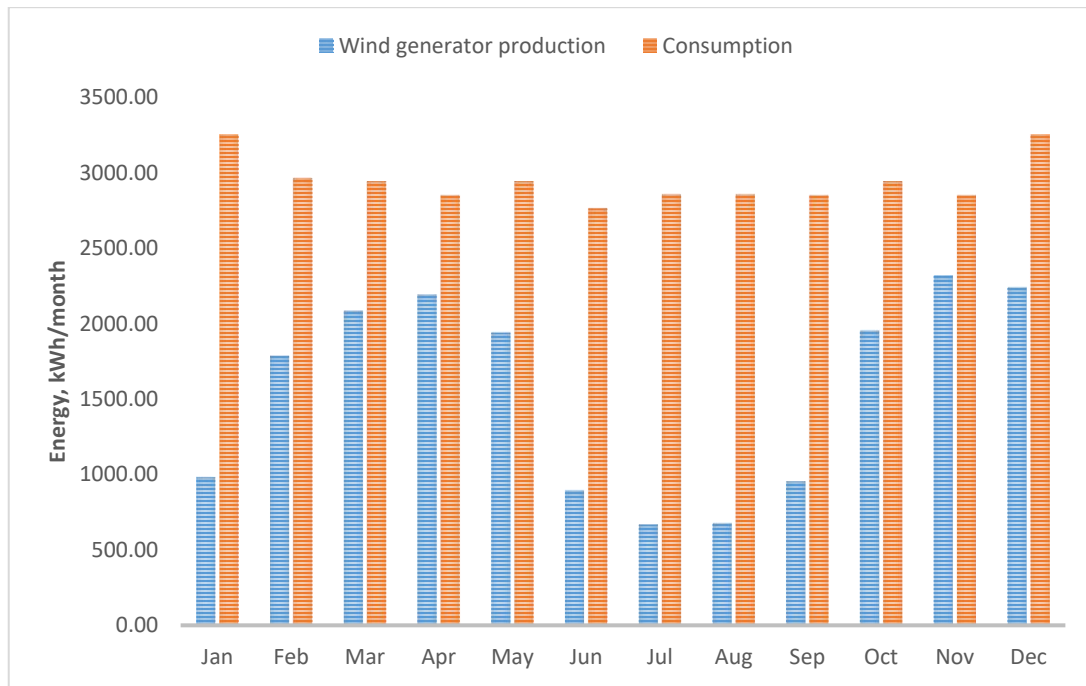


Figure 16. Balance of the energy per month for the whole year

As you may see from the figure 16, not all months' loads are covered by wind generator. Deficiency of energy is especially high in summer months. In case with stand-alone wind generators to cover this deficiency, I have to install at least 5x 30 kW wind generators.

5.2. Solar modules

As PV modules, I choose "Exmork FSM-300M". Main characteristics are provided in table below.

Table 13 – Solar module “Exmork FSM-300M” main characteristics [25]

Electrical parameters	
Maximum power, W	300
Nominal voltage, V	24 V
On-load voltage, V	36
Off-load voltage, V	43,15
On-load current, V	8,33
Short circuit current, A	9,14
Maximum off-load voltage of PV array, V	1000
Efficiency, %	17,4
Cost	256 EUR

Also, PV charge controllers are included. The full specification provided in appendix 8.

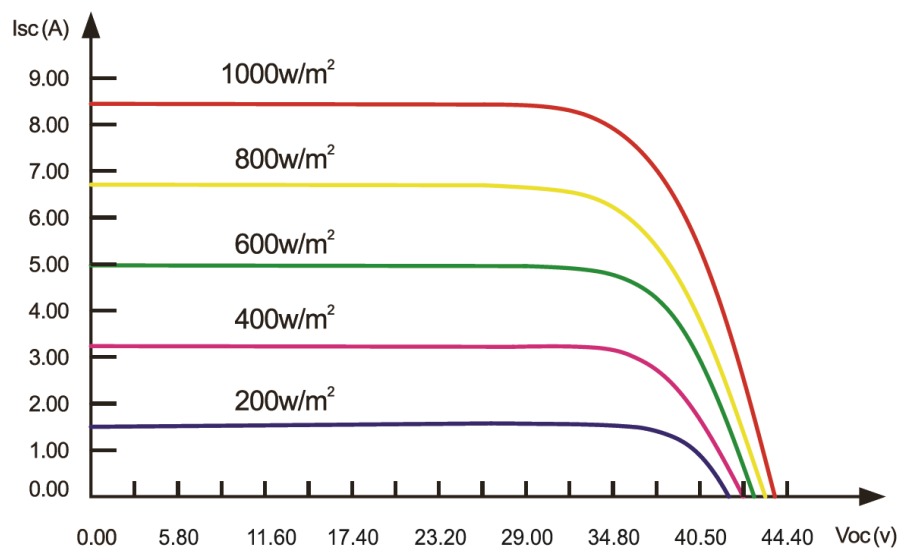


Figure 17. Current and voltage dependences on the intensity of solar radiation

Now I calculate amount of energy generated by one solar module during one-year month by month using methodic from [7]

Solar module with nominal power P_{SM} generates such amount of energy:

$$W_{SM} = \frac{P_{SM} \cdot \lambda}{1000} [kWh]; \quad (13)$$

where, λ - insolation during the chosen period, [kWh/m²];

Example of calculations for January:

$$W_{SM} = \frac{300 \cdot 28,52}{1000} = 8,556 [kWh]$$

Table 14 – Amount of energy generated by solar module “Exmork FSM-300M”

Month	Energy generated by 1 solar module, $W_{1SM}, [kWh]$	Energy consumptions, $W_C, [kWh]$	Necessary quantity of solar modules, N_{SM}	Energy generated by 70 solar modules, W_{70SM}
January	8,556	3254,938	380	598,92
February	10,725	2966,1935	277	750,75
March	17,346	2944,938	170	1214,22
April	31,929	2849,94	89	2235,03
May	43,212	2944,938	68	3024,84
June	55,866	2764,56	49	3910,62
July	56,892	2856,712	50	3982,44
August	58,884	2856,712	49	4121,88
September	47,103	2849,94	61	3297,21
October	29,895	2944,938	99	2092,65
November	19,113	2849,94	149	1337,91
December	11,655	3254,938	279	815,85
Total	391,176	35338,6875	-	27382,32

As you can note from the table 12, in order to cover energy consumptions, we need to install more than 300 solar modules, that is literally impossible. Furthermore, all we need is to cover deficiency. The highest deficiency of energy is in winter season.

The most reasonable quantity of solar modules is 70, it allows us to cover summer season, May and June.

Let us build the plot of energy generated by solar modules.

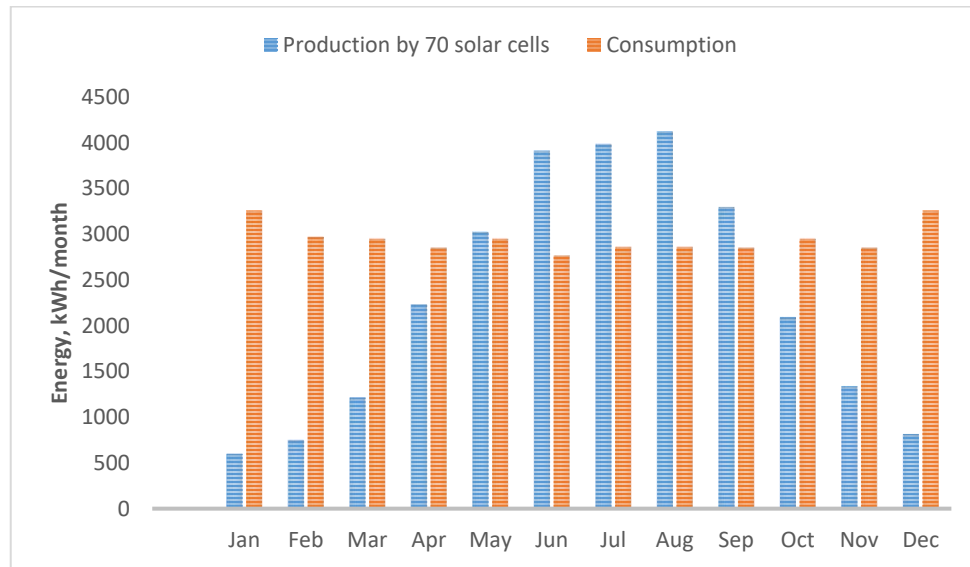


Figure 18. PV power plant energy balance per month for the whole year

Two solutions are possible to cover the current energy deficit. First is to install additional gasoline generator, the second is to install wind generators. From the previous calculation, I can note that to cover all the load I have to install at least **3x30kW wind generators and 70 solar cells.**

Table 15 – Amount of energy generated by hybrid wind-solar power plant

Month	Energy consumption, [kWh]	Energy generated by 70 solar modules, [kWh]	Energy generated by 3x30kW wind generators, [kWh]	Total energy generated, [kWh]
January	3254.938	598.92	2941.044	3539.964
February	2966.1935	750.75	5360.718	6111.468
March	2944.938	1214.22	6257.204	7471.424
April	2849.94	2235.03	6576.854	8811.884
May	2944.938	3024.84	5818.780	8843.620
June	2764.56	3910.62	2677.831	6588.451
July	2856.712	3982.44	2004.239	5986.679
August	2856.712	4121.88	2025.336	6147.216
September	2849.94	3297.21	2860.349	6157.559
October	2944.938	2092.65	5861.670	7954.320
November	2849.94	1337.91	6955.288	8293.198
December	3254.938	815.85	6717.114	7532.964
Total	35338.6875	27382.32	56056.428	83438.748

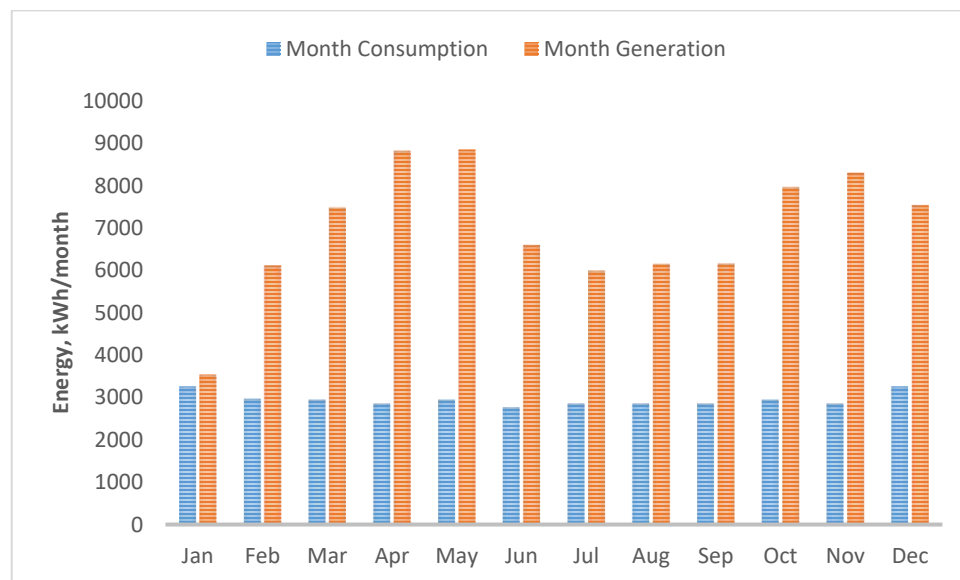


Figure 19. Wind-solar power plant monthly energy balance for the whole year

5.3. Gasoline generator

As gasoline generator I choose “EUROPOWER EP20000TE”. Brief description of main characteristics is provided in table below.

Table 16 – “EUROPOWER EP20000TE” generator main characteristics [26]

Nominal power, kW	16
Frequency, Hz	50
Dimensions l x w x h	100 x 64 x 72cm
Maximum apparent power, kVA	20
Nominal voltage, V	380/220
Cost	6000 EUR

The cost also includes ATS controller and AC/DC converter. The full specification is provided in the appendix 9.

Table 17 – approximate calculation of annual gasoline consumption for different structures of power plant

Month	Gasoline consumption, l/h		
	1 WT + GG	70 PV + GG	1 WT + 70 PV + GG
January	1327	1549	977
February	688	1292	250
March	501	1010	0
April	384	359	0
May	586	0	0
June	1092	0	0
July	1277	0	0
August	1273	0	0
September	1106	0	0
October	578	497	0
November	310	882	0
December	593	1423	117
Total	9714	7012	1344

* 1 WT + GG – Combination of 30 kW “Condor Air” wind generator + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE”

* 70 PV + GG – Combination of 70 x 0.3 kW “Exmork FSM-300M” solar cells + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE

* 1 WT + 70 PV + GG – Combination of 70 x 0.3kW “Exmork FSM-300M” solar cells + 30 kW “Condor Air” wind generator + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE”

5.4. Inverter

The next device I have to install is inverter. Inverter is a device which converts DC voltage to AC voltage. The form of voltage can be sinusoidal, close to sinusoidal or pulsed. Inverters are used as stand-alone devices and as a part of uninterruptible power supply systems.

As inverter I choose “**GoodWe DT series 25 kW inverter**”. Brief description of main characteristics is provided in table below.

GoodWe smart DT series inverter is typically designed for the home solar systems, covering 4kW/5kW/6kW. By adopting cutting-edge technology of photovoltaic field, it provides three phase AC output, making home system connection well balanced, safer and more convenient. The integrated two MPPTs allow two-array inputs from different roof orientations. And the combination of both RS485 and Wi-Fi communication makes the system well interactive and extremely easy to monitor. [27]

Table 18 – Brief description of main characteristics of the inverter [27]

Input Data(DC)	
Max. DC Power	32.5 kW
Max. DC Voltage	1000 V
Nominal DC Voltage	620 V
Min. DC Voltage to Start Feed In	250 V
Output Data (AC)	
Max. AC Power	25 kW
Nominal AC Power	25 kW
Nominal AC Voltage	400 V
Max. AC Current	37 A
Frequency	50, 60 Hz
Cost	3500 EUR

The full specification is provided in the appendix 10.

5.5. Batteries

The battery is a consumable item in an autonomous or backup power system. The better you pick up the battery for your system, the longer it will work and the less will ultimately be the cost of electricity generated by your system.

The main parameter of any battery is its capacity. Depending on which system it will be used in, it is necessary to choose the required face value. In our case, batteries are going to use as backup for the main power sources. It means, that battery will be discharged quite rarely (in case of fault of the main source of electricity). I will consider the required capacity based on a 100% discharge cycle. I will design backup system for 1 day of normal house operating.

Maximum daily consumption according to figure 10 is 105 kWh in winter. To supply house with energy during the whole this day we need to 8,75 kA*h capacity. I

will install “**Delta DTM 12250 L (12V / 250Ah)**” in the amount of 35 batteries.

Description of technical characteristics is provided in table below.

Table 19 – Technical characteristics of battery “**Delta DTM 12250 L (12V / 250Ah)**”
[28]

Technical characteristics:	
Voltage, V	12
Capacity, Ah	250
Length, mm	520
Width, mm	269
Height, mm	222
Height with terminal, mm	225
Weight, kg	71.2
Lifetime, age	12
Cost, EUR	500

Summary

After calculation of energy balance, I decided to consider a few additional hybrid combinations of power plant structure and complement them. I provide all the considered structures below:

- 5x30 kW “Condor Air” wind generator
- 30 kW “Condor Air” wind generator + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE”
- 70x0.3kW “Exmork FSM-300M” solar cells + 3x30 kW “Condor Air” wind generator
- 70x0.3kW “Exmork FSM-300M” solar cells + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE”

- 70x0.3kW “Exmork FSM-300M” solar cells + 30 kW “Condor Air” wind generator + Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE”

All other equipment is the same for all these options.

6. Financial management, resource efficiency and resource saving

6.1. Project initiation

Initiation processes define initial goals and content and fix initial financial resources. The internal and external stakeholders of the project are determined, which will interact and influence the overall result of the scientific project.

6.1.1. Project goals and results

Information about the stakeholders of the project, the hierarchy of project goals and criteria for achieving goals is presented in table below.

Table 20 – Stakeholders of the project

Stakeholders of the project	Stakeholders of the project expectations
Extractive industry, houses and cottages isolated from electrical network.	Reliable source of power supply; Low electrical energy cost; Convenient in usage; High efficiency of the equipment

Information about the hierarchy of project goals and criteria for achieving goals is given in the table below.

Table 21 – Project goals and results

Project goals	Provide the facility with a reliable source of electricity, reduce environmental pollution, reduce the cost of paying for electricity, increase the efficiency of using existing equipment
Expected results of the project	Based on the conducted research, analyze the sensitivity, find shortcomings, suggest the necessary measures to improve these indicators.
Acceptance criteria of the project result	Efficiency in relation to the proposed measures to improve the quality of electrical energy and maintain the stable operation of the equipment.
Requirements to the project results	Project completion on time
	Stability of technological equipment
	The efficiency of the equipment used
	Convenience in usage

6.1.2. Organizational structure of the project

The organizational structure of the project is presented in the table below.

Table 22 – Project Working Group

№	Name	Position	Functions	Hours spent
1	Makarov A.M.	Project Executor	Work on project implementation	750
2	Muravlev I.O.	Project Manager	Coordination of work activities and assistance in project implementation	100
Total:				850

6.1.3. Assumptions and constraints

Limitations and assumptions are summarized in table below.

Table 23 – Limitations and assumptions

Factor	Limitations/assumptions
1. Project budget - for design	685 000 RUB
1.1 Source of budgeting	Own funds / bank loan
2. Project timeline:	21 January 2020 – 10 August 2020
2.1 Date of approval of the project management plan	25 January 2020
2.2 Project completion date	10 August 2020
3. Other	-

As a result of the initialization of the project, the goals and expected results were formulated, the stakeholders of the project and the financial framework were identified, which is very important for the successful completion of the project and its implementation.

6.1.4. Project planning

The main way to develop a design implementation schedule is called a Gantt chart.

A Gantt chart is a horizontal graph that depicts work on a topic in long time periods, described by completion dates and start dates for the assigned work.

Table 24 – Design and research timing

Task	The laboriousness of the task						Duration of the task in working days T_{pi}		Duration of the task in calendar days T_{ki}	
	t_{min} , person-days		t_{max} , person-days		t_{oji} , person-days					
	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer
Drawing up the technical assignment	3		8		5		5		7	
Literature review		4		9		6		6		9
Selection of the research field		5		8		6		6		9
Calendar planning	10		15		12		6		9	
Preliminary calculations and justifications		5		10		7		7		10
Step load curves		1		2		1		1		1
Environment potential analysis		2		3		2		2		3
Equipment research		4		5		4		4		6
Balance of generation and consumption of electrical energy		1		2		1		1		1
Mathematical simulation		5		9		6		3		4
Choosing a price category		3		4		3		3		4
Evaluation of the effectiveness of the results	6		10		8		4		6	
Drawing up a final report		6		10		10		10		15

Table 25 – Schedule of the project design

№	Task	Executors	T_{kl} days	Duration of the task																				
				January				February				March				April					May			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4
1	Drawing up the technical assignment	Supervisor	3																					
2	Literature review	Engineer	5																					
3	Selection of the research field	Engineer	9																					
4	Calendar planning	Supervisor	1																					
5	Preliminary calculations and justifications	Engineer	10																					
6	Step load curves	Engineer	5																					
7	Environment potential analysis	Engineer	10																					
8	Equipment research	Engineer	10																					
9	Balance of generation and consumption of electrical energy	Engineer	10																					
10	Mathematical simulation	Engineer	7																					
11	Choosing a price category	Engineer	5																					
12	Evaluation of the effectiveness of the results	Supervisor	5																					
13	Drawing up a final report	Engineer	10																					
	– Engineer																							
		– Supervisor																						

Thus, the duration of the task performed by the engineer and the supervisor. In general, the duration of work in calendar days for an engineer is 82 days, and for a supervisor is 8 days.

6.2. Project budgeting

The project budget must display reliable values for all types of costs associated with its implementation. The costs of this project include:

- Costs of purchasing equipment;
- Costs for materials and other products;
- Expenses for the main and additional salaries of the theme performers;
- Costs for special equipment;
- Costs of social security contributions;
- Overhead costs.

6.2.1. Costs of purchasing equipment

Table 26 – Calculation of the cost of basic equipment

Name of equipment	Number	Equipment cost, thousand RUB
Switching module	1	72
Switcher	1	38
Relay protection block	1	20
Overvoltage controller	1	34
Cutout box	1	55
Control cabinet	1	47
Total		266
Taking into account transportation costs ($k_T = 5\%$)		279,3

6.2.2. Costs for materials and other products

These costs include office supplies, printing costs, and various equipment required for paperwork.

Table 27 – Costs for materials for the project

Name	Unit of measurement	Number	Price per unit, RUB	Expenses (E_M), RUB
Paper	Pack	1	250	250
Pens	Unit	2	50	100
Pencils	Unit	1	50	50
Ruler	Unit	1	40	40
Printing	Page	200	2	400
Folder	Unit	2	5	10
Stapler	Unit	1	150	150
Staples	Pack	1	40	40
Hole puncher	Unit	1	250	250
Total				1 290

6.2.3. Costs for specialized equipment

This item includes all costs that are associated with the purchase of special equipment (for example, instruments, instrumentation, stands, devices and mechanisms) necessary for the project.

Table 28 – Costs for specialized equipment

№	Name	Number	Price per unit, RUB	Total price of equipment, RUB
1	Laptop	1	30 000	30 000
2	Microsoft Windows 10 Professional RU x64	1	4 000	4 000
3	Kaspersky Anti-Virus	1	1 320	1 320
4	Microsoft Office 2019 Home and Student	1	2 500	2 500
Total, RUB				37 820

The cost of specialized equipment is recorded in the form of depreciation charges. Depreciation is the gradual transfer of costs incurred to purchase or build property, plant and equipment to the cost of the finished product. With its help,

money spent on the construction or purchase of property is compensated. Depreciation deductions are paid during the entire period of property exploitation.

Let's calculate the amount of monthly depreciation deductions in a linear way. Equipment costs are 37 820 RUB. The operating life of the computer is 7 years, the Microsoft Windows 10 license is 4 years, the rest of the software is a year. Then the annual depreciation rate for them, respectively:

$$N_D = \frac{1}{7} \cdot 100\% = 14,29\%,$$

$$N_D = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%,$$

$$N_D = \frac{1}{1} \cdot 100\% = 100\%$$

Academic year depreciation (9 months) for Laptop, Microsoft Windows 10 License, and Supporting Software:

$$D_L = 30000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 30000 \cdot \frac{14,29\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 1\,057 \text{ RUB},$$

$$D_{Win10} = 4000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 4000 \cdot \frac{25\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 2\,46,6 \text{ RUB},$$

$$D_{SS} = 3820 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 3820 \cdot \frac{100\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 941,9 \text{ RUB},$$

Where T – number of working days

Total depreciation for a year:

$$D = 2\,245,5 \text{ RUB}$$

6.2.4. Basic salary

The amount of expenses for wages of employees is determined based on the labor intensity of the work performed and the current system of salaries and tariff rates.

The calculation of the basic salary of the head of a scientific project is based on the sectoral wage system. The branch system of remuneration at TPU assumes the following composition of wages:

- 1) Salary - determined by the enterprise. In TPU, salaries are distributed in accordance with the positions held, for example, assistant, art. lecturer, associate professor, professor (see "Regulations on remuneration" given on the website of the Planning and Finance Department of TPU).
- 2) Incentive payments - set by the head of departments for effective work, performance of additional duties, etc.
- 3) Other payments; district coefficient.

Since incentive bonuses, other payments and incentives depend on the activities of the manager in particular, we will take the coefficient of incentive bonuses equal to 30%, and the coefficient of incentives for the manager for conscientious work activity is 25%.

The basic salary of a manager is determined by the formula:

$$S_b = S_r \cdot T_w, \quad (11)$$

Where S_r – worker's regular salary;
 T_p - duration of work, work days.

Additional salary:

$$S_{add} = 0,15 S_b$$

(12)

Average daily salary for a 5-day working week:

$$S_d = \frac{S_M \cdot M}{F_d},$$

(13)

where S_M – worker's monthly salary, RUB;
 F_d – number of working days in a month, days,
 M – number of months of work without vacation during the year

Full salary can be defined as:

$$S_F = S_b + S_{add},$$

(14)

Taking into account the document "Regulations on wages", associate professor, candidate of technical sciences, working at TPU has a salary equal to 26,300 rubles. A design engineer with no experience in Tomsk has an average salary of 18,000 rubles. With this in mind, we calculate the size of the total salary of the project manager and design engineer during the study.

Monthly salaries:

- For project supervisor:

$$S_b = S_r \cdot (1 + k_{pr} + k_d) \cdot k_r = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,3 = 52\,995 \text{ RUB}$$

$$S_F = S_b + S_{add} = 52\,995 + 0,15 \cdot 52\,995 = 60\,944 \text{ RUB}$$

- For engineer developer:

$$S_b = S_r \cdot (1 + k_{pr} + k_d) \cdot k_r = 18000 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,3 = 36\,270 \text{ RUB}$$

$$S_F = S_b + S_{add} = 36270 + 0,15 \cdot 36270 = 41\,711 \text{ RUB}$$

Average daily salary:

$$S_{D.sup.} = \frac{S_{b.sup.}}{F_d} = \frac{52995}{20,58} = 2\,575,1 \text{ RUB}$$

$$S_{D.eng.} = \frac{S_{b.eng.}}{F_d} = \frac{36270}{20,58} = 1\,762,4 \text{ RUB}$$

where the average number of working days in a month was determined as:

$$F_d = \frac{T_w}{12} = \frac{247}{12} = 20,58.$$

Let's assume that the project manager spent 8 working days on it, then the design engineer was engaged in the rest of the time (82 days). Salaries of project participants for the period of work:

$$S_{sup} = S_{D.sup.} \cdot t_{sup} = 2575,1 \cdot 8 = 23\,175,9 \text{ RUB},$$

$$S_{eng} = S_{D.eng.} \cdot t_{eng} = 1762,4 \cdot 82 = 14\,2754,4 \text{ RUB}$$

Additional salaries of project participants:

$$S_{add.sup.} = 0,15 \cdot 52995 = 7\,949,3 \text{ RUB},$$

$$S_{add.eng.} = 0,15 \cdot 36270 = 5\,440,5 \text{ RUB}$$

Daily additional salaries:

$$S_{D.add.sup.} = \frac{7949,3}{20,58} = 386,3 \text{ RUB},$$

$$S_{D.add.eng.} = \frac{5440,5}{20,58} = 264,4 \text{ RUB}$$

Additional salary for the entire project period:

$$S_{add.sup.} = S_{D.add.sup.} \cdot t_{sup} = 386,3 \cdot 9 = 3\,476,7 \text{ RUB},$$

$$S_{add.eng.} = S_{D.add.eng.} \cdot t_{eng} = 264,4 \cdot 81 = 21\,416,4 \text{ RUB}$$

Full salary for the period of the project:

$$S_{F.sup.} = S_b + S_{add} = 23175,9 + 3476,7 = 26\,652,6 \text{ RUB},$$

$$S_{F.eng.} = S_b + S_{add} = 142754,4 + 21416,4 = 164\,170,8 \text{ RUB}$$

6.2.5. Contributions to social funds

Here I will consider the obligatory contributions according to the norms established by the legislation of the Russian Federation to the state social insurance bodies (FSS), the pension fund (PF) and medical insurance (FFOMS) from the costs of wages of employees. The amount of contributions to extra-budgetary funds is determined by the formula:

$$S_{\text{exb}} = k_{\text{exb}}(S_b + S_{\text{add}}), \quad (15)$$

where k_{exb} – contribution rate to extrabudgetary funds.

To date, the following contributions must be made from the amount provided as payment for labor:

- 22% towards the accrual of future pension;
- 5,1% to the Mandatory Health Insurance Fund;
- 2,9% to the Social Insurance Fund;
- from 0,2 to 8,5% for insurance against accidents that may occur at work (the exact amount depends on the risk class, which includes the profession and position of the employee).

The work of a manager and a design engineer belongs to the 1 risk class. Thus, the total deductions amount to 30,2%.

$$S_{\text{exb}} = 0,302 \cdot (23\,175,9 + 3\,476,7 + 142\,754,4 + 21\,416,4) = 57\,629 \text{ RUB}$$

6.2.6. Organization of research costs budget

In the previous subchapters, the values of the main costs of the research were calculated. Let us take them all in one table.

Table 29 – Research cost budgeting

Name	Cost, RUB.	Cost, %
Costs of purchasing equipment	279 300	0,41
Costs for materials and other products	1 290	0,01
Costs for specialized equipment	2 245,5	0,01
Supervisor salary costs	26 652,6	0,03
Design engineer salary costs	164 170,8	0,24
Contributions to social funds	57 629	0,08
Overheads	152 659	0,22
Research budget	683 947,9	100

6.3. Economic model development

6.3.1. Primary project analysis

Current research is focused on economic estimation of renewable energy efficiency in regions with low wind potential. The main purpose is to find an economically effective way to use renewable energy sources in specific regions. Bogashevo - the village where the considered cottage is located. It is inaccessible to the central power supply from the electrical network. In my diploma thesis I considered 5 different combination of electric supply and their estimated balance of energy consumption and generation by different power sources. In order to obtain the most relevant results, I analyze these scenarios with different type of financing and evaluated them from technical, economical and customer point of view.

To make the final decision, it is very important to assess the not only technical, but also economic component of the project. In this chapter I will evaluate all the structures of electric supply from previous chapter with different types of financing. In particular I will consider financing with own funds and with bank loan.

It is necessary to note, that all considered power supply structures do not have any opportunity to sell electricity, since they are off-grid. Also, I do not consider selling equipment and other sources of revenues. Hence, it will be “expenses-only” project. Also, since net cash flow always will be negative, it is not necessary to

calculate depreciation, because I will not pay any taxes. For such projects it is impossible to calculate IRR or Payback period, thus, to evaluate the structures, I will use the NPV investment decision criteria, calculated by formula from [29]:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - INV, \quad (16)$$

where CF_t – net cash flow during t-period;

r – discount rate;

t – number of time period;

T – project lifetime;

INV – initial investments.

6.3.2. Focus group of research results

In order to conduct research on the most suitable equipment, you need to consider the target market and segment it. Segmentation is the division of a product into a homogeneous group that has a function.

Table 30 – Segmentation of the power supply services market

		Consumers		
		Extractive industry	Apartment building and offices	Houses and cottages
Power supply	Central power supply	+	+	+
	Completed solutions	+	-	+
	Solutions of own implementation	-	-	+

As you can see, I have considered three main types of power supply. Since I am interested in cottage power supply, all these options could satisfy me, but according to initial assumption, it is inaccessible to electrical network. Thus, I will consider only completed solutions of power supply and solutions of own implementation. Main consumer of this project expected to be houses and cottages and partially for extractive industry, isolated from central electric power supply.

6.3.3. SWOT-analysis

SWOT analysis is used to determine the strengths and weaknesses of the project.

Table 31 – SWOT analysis

Strengths: S1. Electric power supply of objects, isolated from electrical network. S2. Electricity generation without environment pollution. S3. Low variable cost.	Weaknesses: W1. No subsidies from government W2. No market tools to sell energy W3. High dependence on uncontrolled natural conditions
Opportunities: O1. Make contribution in development of energy industry. O2. Store energy for 24 hours O3. Work with modern equipment	Threats: T1. The emergence of new and more profitable technologies before it pays off T2. Weather anomalies

In addition, you need to identify the strengths and weaknesses of the research project to the external environmental conditions to determine the need for strategic changes. For this it is necessary to build the project matrices.

Table 32 - Strengths and Opportunities Project Matrix

	S1	S2	S3
O1	+	+	-
O2	-	+	+
O3	+	-	-

Analysis of this interactive spreadsheet showed correlated strengths and opportunities: O1S1S2, O2S2S3, O3S1.

Table 33 - Weaknesses and Opportunities Project Matrix

	W1	W2	W3
O1	-	+	-
O2	-	+	+
O3	+	-	-

The correlations of weaknesses and opportunities are as follows: O1W2, O2W2W3, O3W1. The next step in project analysis is to identify the correlation of strengths and threats.

Table 34 - Strengths and Threats Project Matrix

	S1	S2	S3
T1	+	-	-
T2	-	+	+

The correlations of threats and strengths are as follows: T1S1, T2S2S3. The next step in project analysis is to identify the correlation of weaknesses and threats.

Table 35 - Strengths and Threats Project Matrix

	W1	W2	W3
T1	+	+	+
T2	-	-	+

The correlations of threats and strengths are as follows: T1W1W2W3, T2S2S3.

6.4. Economic comparison of possible option of electric supply

Table 36 – Asset prices and lifetime

	Cost [EUR]	Lifetime [years]
Wind generator	26000	20
PV Cell	256	20
Gasoline generator	6000	20
Inverter	3500	20
Battery	500	10
Delivery	500	-
Maintenance	1000	-
Installation	Optional	-
Other	3000	-
Gasoline fuel (1 liter)	0.55	-

- * All the prices provided in the table have shown per unit of the equipment or product
- * Maintenance will be held every year
- * Other – all the expenses, that was not included in previous paragraphs, including wiring, gearboxes, project expenses

As you can note from table 18, lifetime of batteries twice lower than other equipment, thus, I have to buy new batteries after 10th year.

Table 37 – Scenarios description

	Wind generator s number	PV Cells number	Fuel consumption	Batteries number	Bank loan	Investment cost, EUR
Scenario 1	5	-	-	35	No	157 000
Scenario 2	5	-	-	35	Yes	0
Scenario 3	1	-	9714	35	No	57 500
Scenario 4	1	-	9714	35	Yes	0
Scenario 5	3	70	-	35	No	122 420
Scenario 6	3	70	-	35	Yes	0
Scenario 7	-	70	7012	35	No	49 420
Scenario 8	-	70	7012	35	Yes	0
Scenario 9	1	70	1344	35	No	76 420
Scenario 10	1	70	1344	35	Yes	0

* Scenarios without fuel consumption do not include gasoline generator

In order to calculate annuity payment for bank loan I will use formula [29]:

$$PMT = PVA \cdot PV = \frac{1 - (1 + r)^{-T}}{r} \cdot PV, \quad (15)$$

where PMT – annual loan payment,
PVA – Present Value Annuity Factor,
PV – present value,
r – interest rate,
T – number of periods

Economic characteristics

Inflation rate – a quantitative measure of the rate at which the average price level of a basket of selected goods and services in an economy increases over some period of time. It is the rise in the general level of prices where a unit of currency effectively buys less than it did in prior periods. [30]

Table 38 – Inflation data [31]

Year	Inflation, %	Average value, %
2019	3	6,7
2018	4,3	
2017	2,5	
2016	5,4	
2015	12,9	
2014	11,36	
2013	6,45	
2012	6,58	
2011	6,1	
2010	8,78	

So, as inflation rate, I will use average value for last 10 years.

Inflation rate = 6,7 %

Cost escalation can be defined as changes in the cost or price of specific goods or services in a given economy over a period. This is similar to the concepts of inflation and deflation except that escalation is specific to an item or class of items (not as general in nature), it is often not primarily driven by changes in the money supply, and it tends to be less sustained. While escalation includes general inflation related to the money supply, it is also driven by changes in technology, practices, and particularly supply-demand imbalances that are specific to a good or service in a given economy. [29]

Table 39 – Gasoline price growth data [32]

Year	Gasoline price growth, %	Average value
2017	6,58	7,76%
2016	6,10	
2015	6,83	
2014	5,23	
2013	7,75	
2012	5,97	
2011	6,77	
2010	12,56	
2009	12,06	

Gasoline escalation = 7,76 %

Batteries escalation should be less than inflation due to obsolescence of this technology, but not zero, I assume

Batteries escalation = 2 %

Escalation for maintenance I assume to be equal to average inflation rate.

Maintenance escalation = 7,76 %

The interest rate is the amount a lender charges for the use of assets expressed as a percentage of the principal. The interest rate is typically noted on an annual basis known as the annual percentage rate. The assets borrowed could include cash, consumer goods, or large assets such as a vehicle or building. [33]

According to database [34] long term loans interest rates are from 8 to 19%. So, let us assume

Interest rate = 11 %

Discount rate is used in discounted cash flow analysis. DCF is a commonly followed valuation method used to estimate the value of an investment based on its expected future cash flows. Based on the concept of time value of money, the DCF analysis helps assess the viability of a project or an investment by calculating the present value of expected future cash flows using a discount rate. [35]

Also, I assume a discount rate to be a risk-free asset. It is can be taken at the level of governmental bonds [36]

Discount rate = 8 %

Table 40 – Obtained results

	NPV, EUR
Scenario 1	-183 427
Scenario 2	-218 928
Scenario 3	-174 628
Scenario 4	-188 021
Scenario 5	-148 847
Scenario 6	-177 361
Scenario 7	-141 319
Scenario 8	-152 830
Scenario 9	-115 396
Scenario 10	-133 196

As you can see from the table, the best scenario according to economic evaluation is 9th, but I will not rush to conclusions as this is not the only factor important for me. In order to make a final decision, I have to take into account cost of initial investment and technical parameters.

The full tables with calculations provided in appendices 11, 12 and 13.

6.5. Sensitivity analysis

Sensitivity analysis of an investment project (sensitivity analysis) is an assessment of the impact of changes in the initial parameters of an investment project (investment costs, cash inflows, discount rate, operating expenses, etc.) on its final characteristics, which are usually used as IRR or NPV.

To analyze the sensitivity of an investment project, the main thing is to assess the degree of influence of each (or a combination of) changes from the initial parameters in order to provide for the worst development of the situation in the investment project. [37]

In this part I will analyze sensitivity of all the scenarios to discount rate, interest rate, fuel escalation and fuel price in order to evaluate how input parameters affect the project.

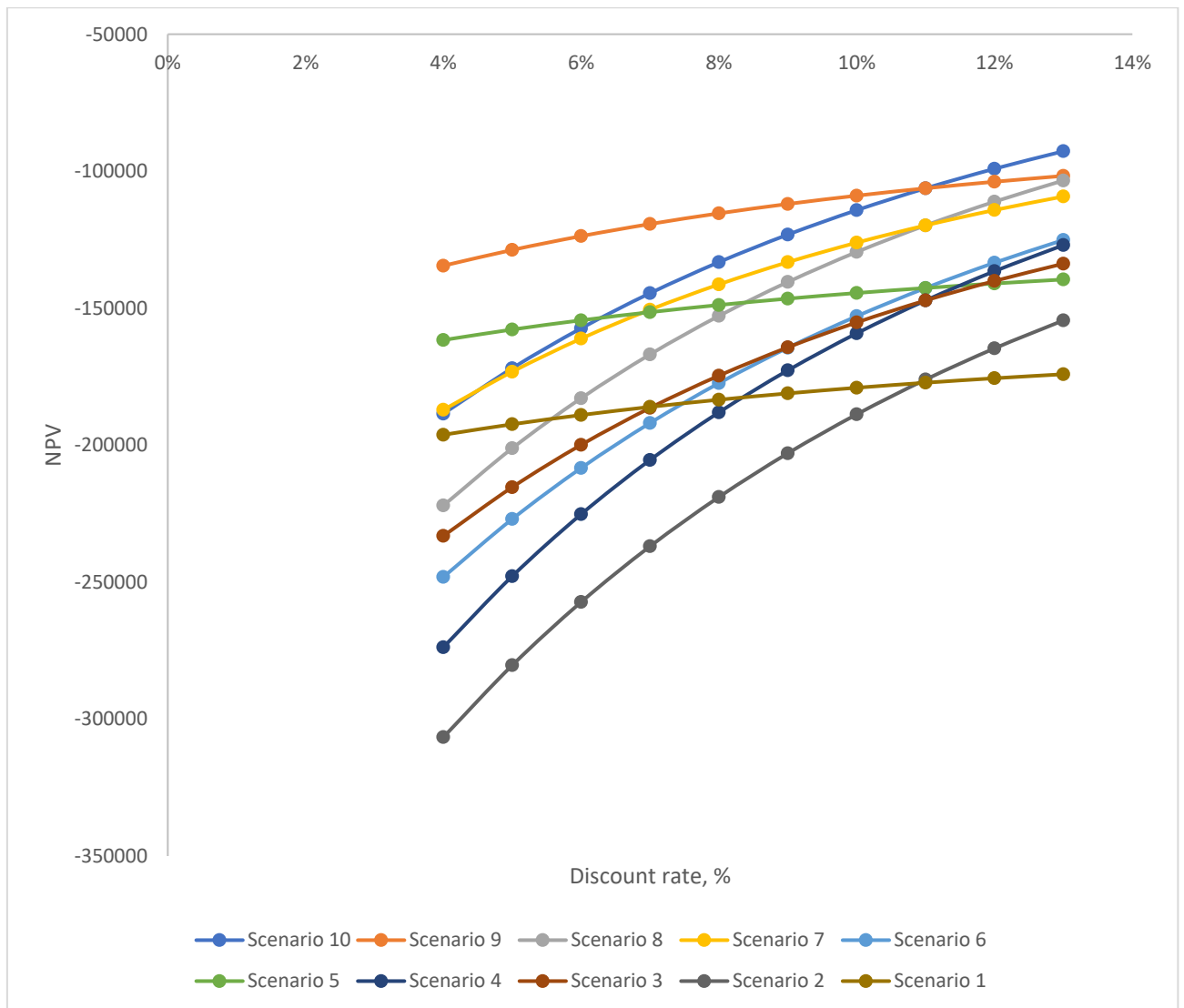


Figure 20. Sensitivity of NPV to discount rate

As you can see from the figure 20, the higher discount rate, the higher will be NPV for these scenarios. It can be explained by type of the projects, due to there are no cash inflows, increase of discounting leads to increase of NPV.

If you compare two best scenarios, 9 and 10, you can note, that scenario with bank loan become more advantageous when discount rate becomes higher than interest rate.

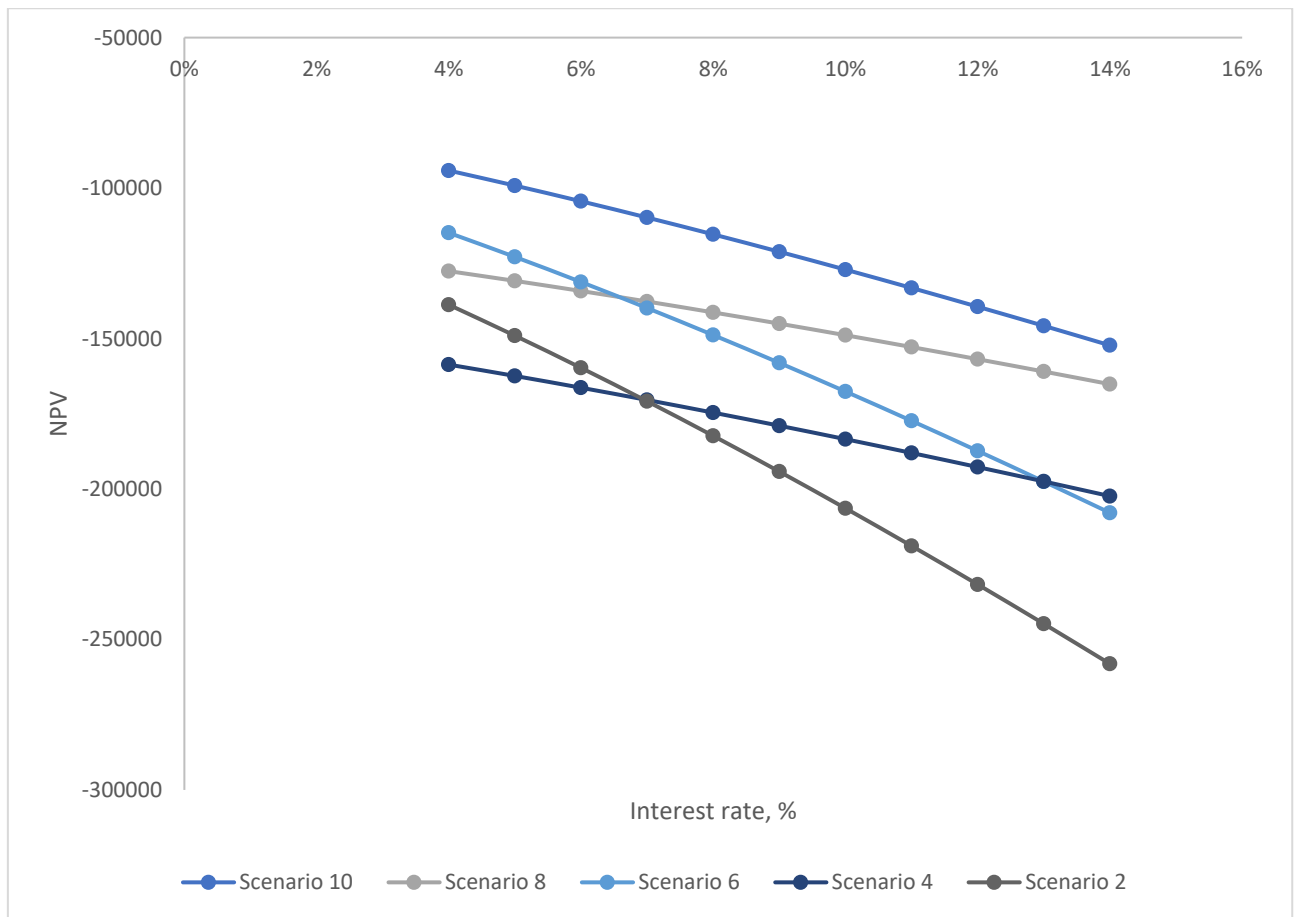


Figure 21. Sensitivity of NPV to interest rate

On this figure I have shown only these scenarios, which include bank loan. As you can see here, the higher loan amount of the scenario, the more sensitive NPV will be to interest rate. In any case, scenario 10 has the best NPV comparing with other scenarios, financed by bank loan.

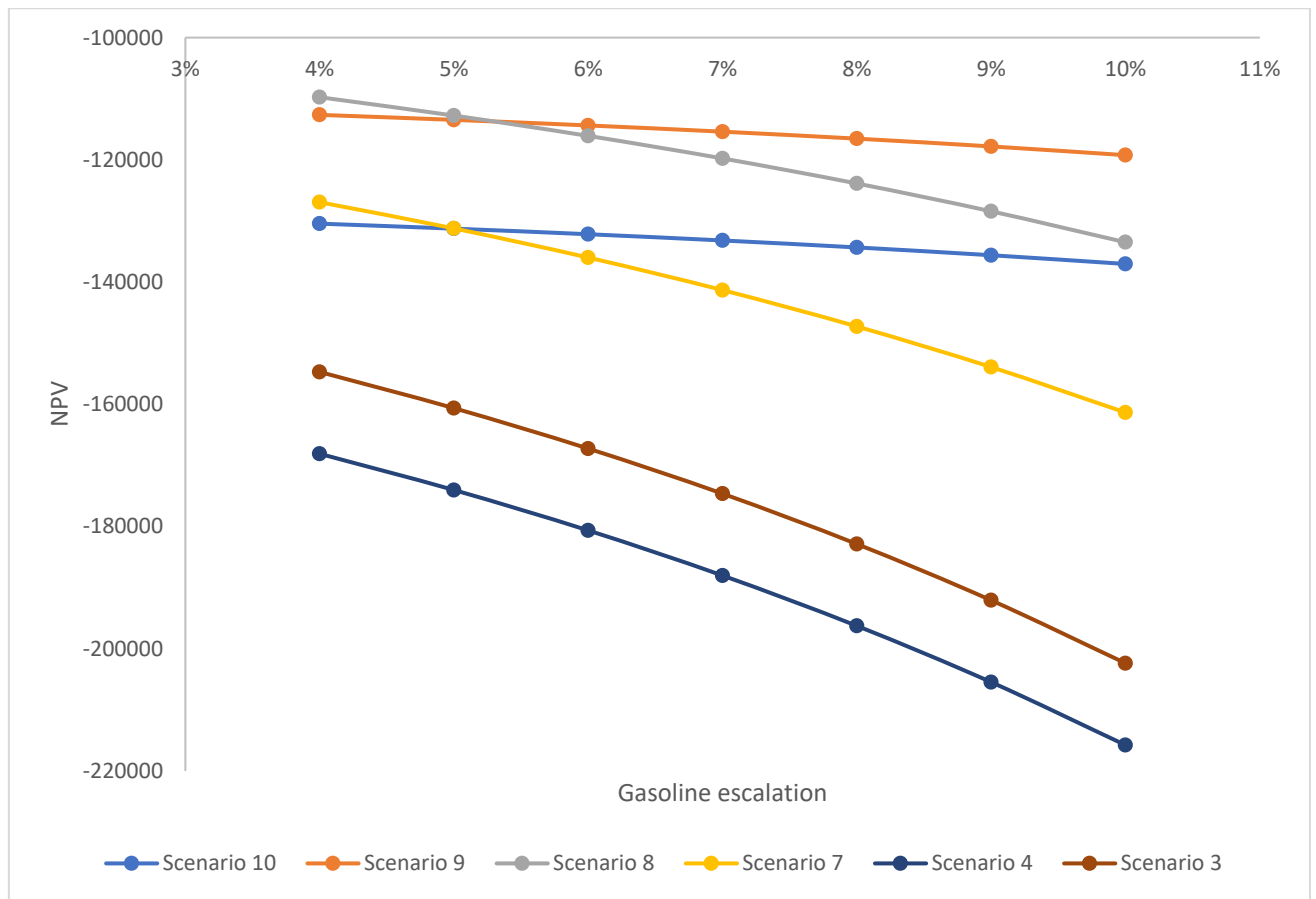


Figure 22. Sensitivity of NPV to gasoline escalation

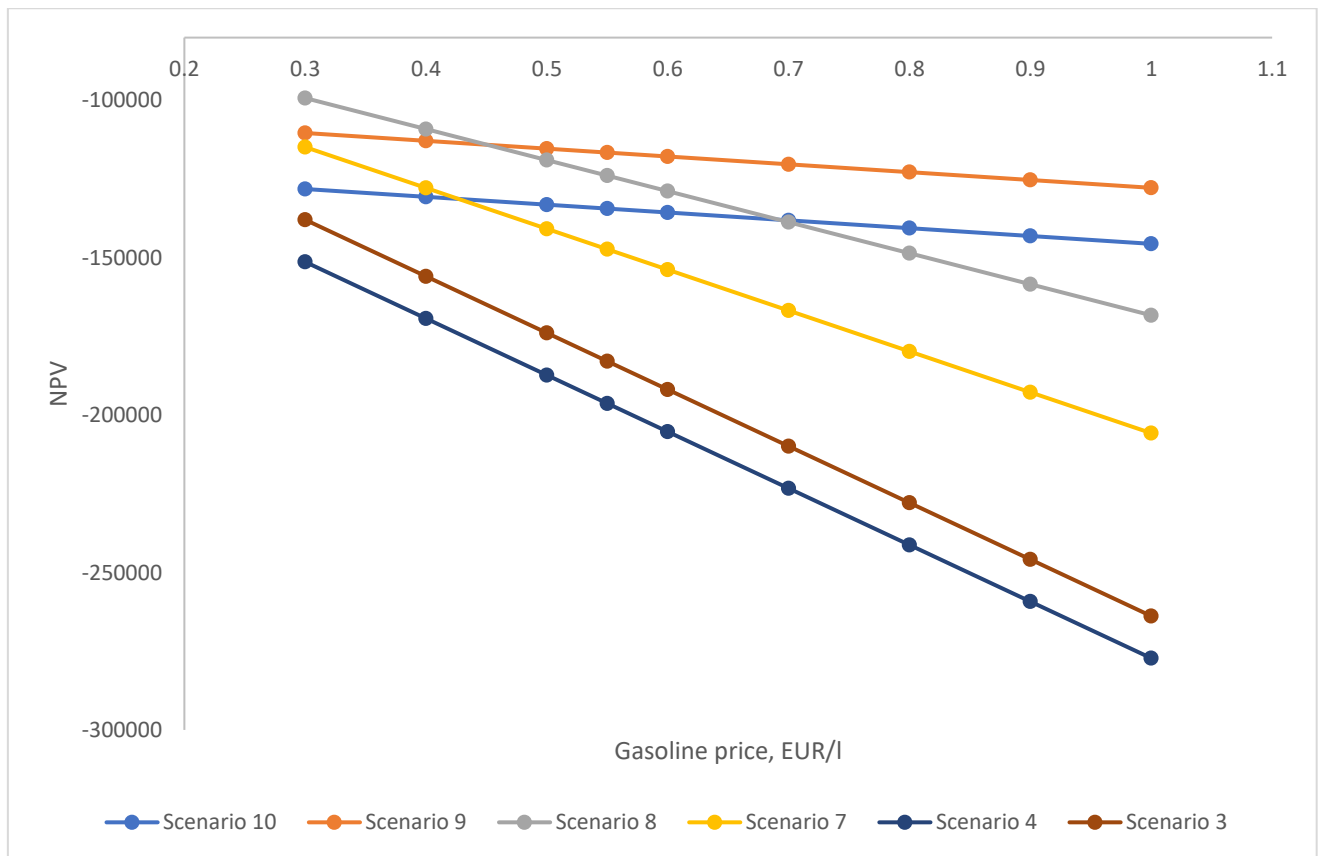


Figure 23. Sensitivity of NPV to gasoline price

I include to both this and previous figure only scenarios, including gasoline generator. As you can see, dependence for same project, but with different initial financing are same. However, it is necessary to note, projects with higher consumption of fuel more sensitive to fuel price/escalation.

6.6. Final decision making

Now, as rational decision maker, I should make the most suitable decision for me. Almost everything is ready for a final decision, however, to make a decision, it is only necessary to introduce criteria for evaluation and evaluate each scenario according to the entered criteria so that the solution is the most suitable for me.

Among the criteria, one should take into account not only the NPV of each scenario, but also other aspects, such as Investment cost and Reliability, etc. The final list of criteria will be given in the table below, with explanations.

Table 41 – Scenarios evaluation according to specified criteria

	Reliability [C1]	Convenience [C2]	NPV [C3]	Investment cost [C4]	Fuel dependence [C5]
Type	max	max	max	min	min
Scale	ordinal [1 to 5]	ordinal [1 to 5]	interval	interval	ordinal [0 to 3]
Scenario 1	2.000	3.000	-1.834	1.57	0.000
Scenario 2	2.000	3.000	-2.189	0	0.000
Scenario 3	4.000	5.000	-1.746	0.575	3.000
Scenario 4	4.000	5.000	-1.880	0	3.000
Scenario 5	1.000	4.000	-1.488	1.2242	0.000
Scenario 6	1.000	4.000	-1.774	0	0.000
Scenario 7	3.000	2.000	-1.413	0.4942	2.000
Scenario 8	3.000	2.000	-1.528	0	2.000
Scenario 9	5.000	1.000	-1.154	0.7642	1.000
Scenario 10	5.000	1.000	-1.332	0	1.000
Weight	0.200	0.150	0.300	0.250	0.100

Here I would like to clarify that from customer point of view, the value of the initial investment has almost the same value as NPV. Since we are talking about large amounts of money, an individual may simply not have that kind of money. As for the other scales, they are intuitively arranged and displays what interests me more among these scenarios.

There are two types of scale – ordinal and interval. An ordinal scale is one where the order matters but not the difference between values. An interval scale is one where there is order and the difference between two values is meaningful. [38]

In order to find the optimal solution, I use Global Criterion Method. [39] According to this method, I have to recalculate values from initial scale, to relative scale. In order to do that I should use formulas (16) for “min” and (17) for “max”:

$$f = \frac{f_W - f_i}{f_W - f_B} \quad (16)$$

$$f = \frac{f_i - f_W}{f_B - f_W}, \quad (17)$$

Where f_W – the worst scenario rating of the criteria,
 f_B – the best scenario rating of the criteria,
 f_i – current scenario rating of the criteria,
 f – relative rating of the criteria

Table 42 – Results of calculation according to global criterion method

	Reliability [C1]	Convenience [C2]	NPV [C3]	Investment cost [C4]	Fuel dependence [C5]	$\sum w_i f_i$
Scenario 1	0.250	0.500	0.343	0.000	1.000	0.328
Scenario 2	0.250	0.500	0.000	1.000	1.000	0.475
Scenario 3	0.750	1.000	0.428	0.634	0.000	0.587
Scenario 4	0.750	1.000	0.299	1.000	0.000	0.640
Scenario 5	0.000	0.750	0.677	0.220	1.000	0.471
Scenario 6	0.000	0.750	0.401	1.000	1.000	0.583
Scenario 7	0.500	0.250	0.750	0.685	0.333	0.567
Scenario 8	0.500	0.250	0.638	1.000	0.333	0.612
Scenario 9	1.000	0.000	1.000	0.513	0.667	0.695
Scenario 10	1.000	0.000	0.828	1.000	0.667	0.765

According to global criterion methodic, the obtained value the better solution will be.

So, as you can see, from the table 23, the best solution will be “Scenario 10”. This scenario includes hybrid power supply, financing by bank loan. More precisely, there will be installed 70 PV Cells, 1 Gasoline generator and 1 Wind generator.

It is necessary to note, although scenario 10 has close value to scenario 9, obtained scenario is more suitable decision. Since the value of initial investment is significant factor, especially from customer point view, although as a result I choose scenario with lower NPV. Between these two scenarios this criterion is decisive.

7. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности – это система законодательных актов и соответствующих им технических, социально-экономических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Социальная ответственность выражает характер взаимоотношений личности с окружающими ее людьми. Общественная природа поведения человека является основой социальной ответственности [42, с.4].

В данном разделе рассматриваются вопросы безопасности и охраны труда при проведении исследований в рамках магистерской диссертации, а точнее при работе с электрофизической установкой – ветро-солнце-дизельной энергетической установкой (далее «установкой»). Модельный стенд, имитирующий работу гибридной электростанции, имитирует работу ветроэнергетической установки, которая преобразует энергию ветра в механическую, а потом за счет работы генератора, непосредственно, в электрическую. А так же бензиновый генератор, использующий энергию сгорания топлива, преобразующуюся в электроэнергию и солнечные установки, преобразующие солнечную энергию в электрическую,

Областью применения данной разработки является частный сектор и предприятия с установленной мощностью до 50 кВт, поэтому данная разработка нацелена на профильные компании, которые испытывают потребность в электроснабжении автономных, изолированных от централизованной сети, объектах.

Условия проведения технологического процесса сопровождаются опасными и вредными факторами, поэтому необходимо учесть вопросы пожарной безопасности, охраны окружающей среды, поведение объекта в чрезвычайных ситуациях и меры, которые необходимы для повышения устойчивости при ЧС.

7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) каждый работник имеет право на [43]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Рабочая зона должна быть обязательно огорожена специальными барьерами с закрепленными на них предупреждающими плакатами «Стой! Напряжение», «Не влезай, убьет» или «Испытание, опасно для жизни» [44]. Также рядом с установкой не должно быть посторонних предметов, которые могут осложнить доступ к рабочему месту.

7.2. Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 43.

Таблица 43 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	-	-	-	СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (1 октября 1996 г. N 21) [4]
2. Превышение уровня шума	-	-	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	-	-	СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
5. Воздействие электромагнитного поля	-	-	+	СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [6]
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	-	+	+	Правила устройства электроустановок (ПУЭ)
7. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	-	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»

7.2.1. Анализ вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата.

Под микроклиматом производственной среды понимается сочетание температуры, относительной влажности, скорости движения интенсивного теплового излучения [45]. Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье.

Помещение должно в первую очередь соответствовать количеству работающих и размещаемому в нём оборудованию и комплексу технических средств. В нём предусматривают соответствующие параметры температуры, освещения, чистоты воздуха. Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают на одного работающего площадь помещения, выгороженного стенами или глухими перегородками, не менее 6 м².

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении. В каждом производственном помещении содержатся вредные вещества, которые классифицируются согласно ГОСТ 12.1005-88. В данном случае установка является источником повышенной загазованности углекислым газом (CO₂). Предельно допустимая норма содержания CO₂ в воздухе – 20 мг/м³. Проблему снижения содержания CO₂ в воздухе можно решить путем применения естественной и искусственной вентиляции помещения, а также озеленение помещения [46].

Оптимальные условия микроклимата.

Холодный и летний период года – (t ниже +10 °C) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризуемые незначительными избытками явной теплоты (23 Вт/м² и менее). Категория работ: средней тяжести - Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 17,0-19,0 °C; относительная влажность воздуха – 60-40%;

скорость движения воздуха: не более 0,2 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: 13-20 °С.

Тёплый период года – ($t + 10$ °С и выше) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м²). Категория работ: средней тяжести - Пб (233-290) Вт; температура воздуха- 19,0-21,0 °С; относительная влажность воздуха – 60-40 %; скорость движения воздуха: 0,2 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: не более чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха.

Допустимые условия микроклимата.

Холодный и летний период года – (t ниже +10 °С) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (23 Вт/м² и менее). Категория работ: средней тяжести – Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 15,0-22,0 °С; относительная влажность воздуха – 15-75%; скорость движения воздуха: 0,2-0,4 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: 14-23 °С.

Тёплый период года – ($t + 10$ °С и выше) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м²). Категория работ: средней тяжести – Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 16,0-27,0 °С; относительная влажность воздуха – 15-75%; скорость движения воздуха: 0,2-0,5 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: не более чем на 5 °С выше средней температуры наружного воздуха.

Источником теплового является основное оборудование электроустановки: допустимые величины интенсивности теплового облучения

работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м^2 . При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждений на рабочем месте не должна превышать 45°C .

Превышение уровня шума.

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека. Шумы в рассматриваемом помещении возникают от двигателя бензинового генератора.

При работе установки во время проведения испытаний, эквивалентный уровень шума не должен превышать 50 дБА. Согласно с СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», в рабочем помещении эта норма соблюдается.

Для измерения шума применяют шумомеры. Все измерения производят в соответствии с ГОСТ 12.1050-86 и ГОСТ 23941-79.

Наиболее перспективным способом снижения шума является использование малошумного оборудования, при этом вводится техническое нормирование шума машин. В паспорте машины указывается шумовая характеристика. В соответствии с ГОСТом 12.1.003-2014 защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними и внешними источниками, осуществляется уменьшением шума в источнике, применением средств коллективной (ГОСТ 12.1.029-80) и индивидуальной (ГОСТ 12.4.011-89) защиты. Классификация средств коллективной защиты от шума представлена на рис. 23.

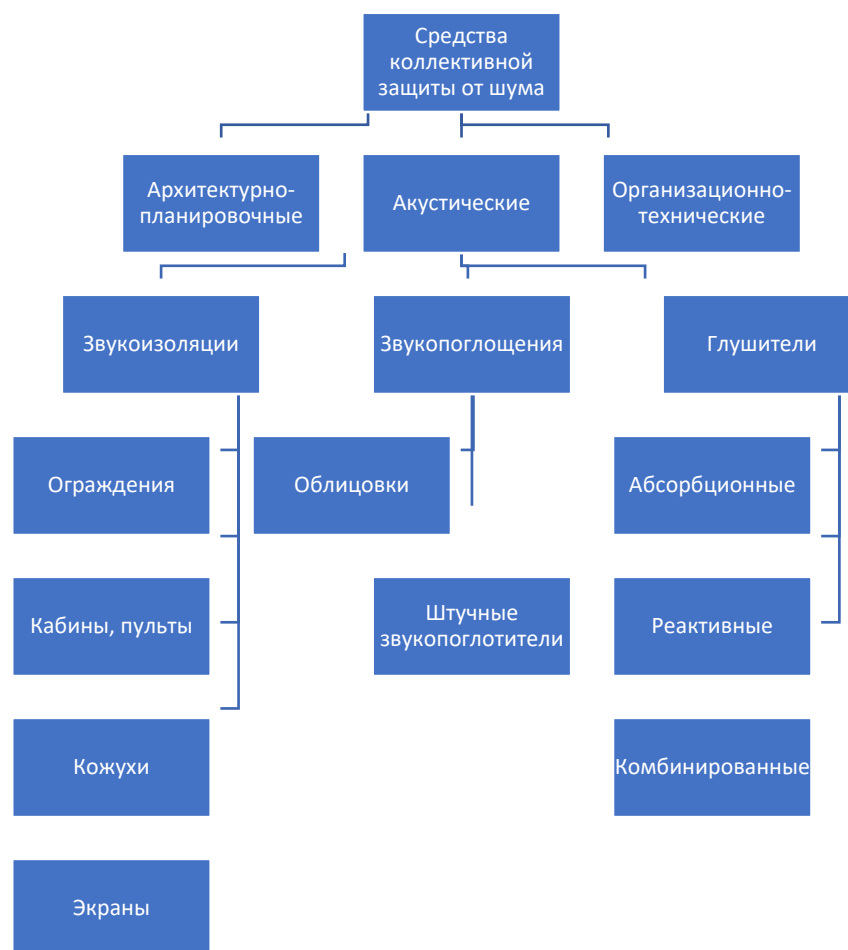


Рисунок 23 – Средства коллективной защиты от шума.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) – противошумы. Противошумы по ГОСТ 12.4.011-89 подразделяются на три типа:

- наушники, закрывающие ушную раковину. В зависимости от частоты они обеспечивают снижение шума на 7-47 дБ. Наиболее эффективно наушники обеспечивают защиту на высоких частотах;

- вкладыши, перекрывающие наружный слуховой канал (беруши). В зависимости от частоты они обеспечивают снижение уровня шума на 5-20 дБ. Их изготавливают из специального ультратонкого волокна, а также из резины или эбонита;

- шлемы, закрывающие часть головы и ушную раковину. Применяют при очень высоких уровнях шума (более 120 дБ).

Все вышеупомянутые средства индивидуальной защиты используются при работе с установкой.

Основным источником шума при работе бензинового генератора считается двигатель внутреннего сгорания. Практика показала, что если уровень шума бензинового генератора превышает 96 дБА, то уже через 20 лет более 34% обслуживающего персонала, работающего в непосредственной близости от установки, страдают заболеваниями, связанными с потерей слуха.

Основные технические способы борьбы с шумом от бензиновой электростанции:

- 1) Установка бензиновых генераторов на амортизационные устройства, позволяющие снизить вибрационную составляющую шума.
- 2) Глушители, монтируемые на систему выпуска выхлопных газов, которая считается одним из основных источников звука.
- 3) Вентиляционные решетки, обеспечивающие снижение скорости воздуха и рассеивающие энергию звуков, создаваемых воздушными массами.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

О важности вопросов производственного освещения говорит тот факт, что условия деятельности исследователя в системе «человек-машина» связаны явным преобладанием зрительной информации - до 90 % общего объема.

Выполняемая работа относится к классу «точных». Для искусственного освещения СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 300 Лк, рекомендуемая – 400 Лк.

Основные требования к рабочему освещению [46]:

- освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительных работ;
- необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства;
- на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;

- в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная бликость - повышенная яркость светящихся поверхностей;
- величина освещенности должна быть постоянной во времени;
- следует выбирать необходимый спектральный состав света;
- следует выбирать оптимальную направленность светового потока;
- все элементы осветительных установок должны быть достаточно долговечны, электробезопасны, а также не должны быть причиной возникновения пожара или взрыва;
- установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

Для обеспечения нормативной освещённости необходимо использовать совмещённое освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Естественное освещение является боковым, а искусственное – общим. В условиях недостаточной освещенности в утреннее и вечернее время используется искусственное освещение.

Воздействие электромагнитного поля

Источником электромагнитного поля в рассматриваемом рабочем месте являются устройства, не предназначенные для излучения электромагнитной энергии в пространство, но в которых при работе протекает электрический ток: системы передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные и распределительные подстанции) и приборы, потребляющие электроэнергию (электродвигатели, электроплиты, холодильники, телевизоры и т.п.). Непосредственно в близком контакте с рабочими находятся компьютеры и электродвигательные установки.

Нормируемыми параметрами электромагнитных полей является напряженность. Предельно допустимая напряжённость электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать в течение рабочего дня по электрической и магнитной составляющей нормативов согласно ГОСТ 12.1.006-84. Предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих

местах не должна превышать нормативов в течение рабочего дня по электрической составляющей согласно таблице 44

Таблица 44 – Напряженность электромагнитного поля

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля (Е)	В диапазоне частот (5-2) Гц	25 В/м
	В диапазоне частот (2-400) кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот (5-2) Гц	250 нТл
	В диапазоне частот (2-400) кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля (Н)		15 кВ/м

Для защиты от излучений применяют защитные экраны и ограничивают время работы за установкой [47].

Повышенное значение напряжения в электрической цепи

В процессе сборки установки для исследования и проведения опытов, исследователь подвергается опасности поражения электрическим током, результатом которого могут стать электротравма, ожог или смерть.

Среди основных причин, приводящих к поражению электрическим током выделяют:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на механических конструктивных частях электрооборудования (корпусе, кожухе и т.п.) в результате повреждения изоляции, коротких замыканий и других причин;
- появление напряжения на отключенных частях, на которых производится какая-либо работа из-за ошибочного включения установки;
- возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания на землю.

Согласно ПУЭ в отношении опасности поражения людей электрическим током территория лаборатории приравнивается к безопасным помещениям.

Полностью безопасными для работника являются помещения, в которых возможность поражения электрическим током сводится к минимуму.

Критерии безопасных помещений:

- сухость, влажность колеблется от 40 до 45%;
- хорошо проветриваемые;
- хорошо отапливаемые, температура воздуха составляет 18-20°
- без токопроводящей пыли;
- коэффициент заполнения площади предметами из металла составляет меньше, чем 0,2;
- с токонерповодящими полами.

Всю совокупность мер и способов защиты от поражения электрическим током можно разделить на организационные и технические.

К организационным мерам защиты от поражения электрическим током относят:

- назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;
- обучение персонала правилам производства работ и эксплуатации электротехнического оборудования;
- оформление наряда или распоряжения на производство работ;
- проведение инструктажей перед началом работ с электроустановками;
- организация надзора за проведением работ;
- установление рациональных режимов труда и отдыха;
- применение средств индивидуальной защиты, предупреждающих плакатов и знаков безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026-2015;
- изолирование и ограждение токоведущих частей электрооборудования (РД 153-34.0-03.150-00).

Одним из важнейших организационных мер защиты от поражения электрическим током является применение средств индивидуальной защиты. Они предназначены для защиты тела, органов дыхания, зрения, слуха, головы,

лица и рук от травм и воздействия неблагоприятных производственных факторов.

К техническим мерам защиты от поражения электрическим током относят:

- электрическое разделение сети;
- компенсация токов замыкания на землю;
- выравнивание потенциала;
- применение защитного заземления, зануления;
- контроль и профилактика изоляции;
- защитное отключение.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или её эквивалентом механических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.030-81). Цель защитного заземления - устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

Контроль изоляции - это измерение ее активного сопротивления с целью обнаружения дефектов и предупреждения замыканий на землю и коротких замыканий.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Нулевой защитный проводник – это проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземлённой нейтральной точкой обмотки источника тока или её эквивалентом (ГОСТ 12.1.009-76).

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Устройства защитного отключения должны обеспечивать отключение неисправной электроустановки за время не более 0,2 с (ГОСТ 12.1.019-2017).

Все операции производятся по инструкциям и правилам, изложенным в следующих документах:

- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [49];

- межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок РД 153-34.0-03.150-00;

- строительные нормы и правила СНиП III.A.II-70;

- правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах (ПТБЭМ).

Таким образом, применение как организационных, так и технических мероприятий позволяют минимизировать возможность поражения электрическим током при проведении работ с электрооборудованием.

Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.

В процессе осуществления сборки лабораторной установки исследователь подвержен опасности получения механической травмы из-за наличия острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности оборудования и инструмента. Используемое в исследовании электрооборудование имеет острые кромки, что также создает опасность получения механической травмы.

К опасностям, механически воздействующим на организм человека, относятся разрушающиеся конструкции; острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности оборудования и инструмента и др. В зависимости от возможности предохранения человека в условиях взаимодействия его с потенциально опасными техническими объектами согласно ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» применяются два основных метода защиты работника от механических опасностей: обеспечение недоступности к опасно действующим частям оборудования и применения приспособлений, непосредственно защищающих человека от опасного производственного фактора.

Первый метод состоит в пространственном или временном разделении рабочей зоны и опасной зоны. Кроме того, к данному методу относится все, что связано с конструктивными особенностями как самого оборудования, так и устройств, ограждающих и блокирующих опасные зоны (ГОСТ 12.2.003-91). Недоступность может быть обеспечена размещением опасных объектов на недосягаемой высоте, а также под прикрытием или в трубах.

Ко второму методу относятся приспособления, с помощью которых обеспечивается безопасность взаимодействия с опасными частями оборудования, в том числе и дистанционное управление, а также устройства, автоматически прекращающие работу агрегата или подачу энергии в систему и т.д. К средствам достижения безопасности относятся средства коллективной (ГОСТ 12.1029-80) и индивидуальной (ГОСТ 12.4051-87) защиты.

7.3. Экологическая безопасность

В ходе выполнения исследовательской работы необходимо учитывать предельную концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны, источником которых является бензиновая установка, которая регулируется ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», ГН 2.2.5.2308-07 «Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». В ходе работы концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не выходила за допустимые пределы.

Проектом предусмотрены определённые меры по сведению до минимума нагрузки на окружающую среду. Используемое в составе испытательного стенда оборудование полностью соответствует существующим международным стандартам в области экологии, поэтому его применение не приведёт к загрязнению окружающей среды и электромагнитное излучение не превысит установленные предельно-допустимые нормы.

С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть воздействие серверного оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения;
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация;
3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения;
4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии;
5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма;
6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах.

7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Характерной ЧС при эксплуатации электрооборудования является пожар. Причинами пожара могут быть аварийные режимы работы электрических изделий, сопровождаемые нагреванием проводов и аппаратов, искрением и

образованием электрической дуги: короткое замыкание, перегрузка проводов и аппаратов, большое переходное сопротивление [51]. Основы противопожарной защиты определяются стандартами ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность», ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывоопасность. Общие требования», НПБ 105-03 и ППБ-03.

В соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» помещение лаборатории имеет категорию В.

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка работника на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установки.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к., все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану. Если все же возникнет пожар, рабочая группа будет действовать в следующем порядке:

- вызов пожарного расчета;
- отключение всех электроустановок;
- закрытие окон и дверей, чтобы исключить сквозняк и доступ кислорода, который поддерживает процесс горения;
- каждый работник воспользуется первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ). При невозможности самостоятельно ликвидировать возгорание – немедленно начать эвакуацию.

На рисунке 24 показан план эвакуации людей с цокольного этажа корпуса №8 ТПУ.



Рисунок 24 – План эвакуации с цокольного этажа
(сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной)

На рисунке 25 показан план эвакуации людей с первого этажа корпуса №8
ТПУ.



Рисунок 25 – План эвакуации с первого этажа
(сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной)

Системы противопожарной защиты здания должны обеспечивать возможность эвакуации людей в безопасную зону до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76* «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» оповещение людей о пожаре, управление эвакуацией людей и обеспечение их безопасной эвакуации при пожаре в здании должны осуществляться одним из следующих способов или комбинацией следующих способов:

- 1) подача световых, звуковых и (или) речевых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей;
- 2) размещение и обеспечение освещения знаков пожарной безопасности на путях эвакуации в течение нормативного времени;
- 3) включение эвакуационного (аварийного) освещения;
- 5) дистанционное открывание запоров дверей эвакуационных выходов;
- 6) обеспечение связью пожарного поста (диспетчерской) с зонами оповещения людей о пожаре.

Стоит отметить, что корпус №8 ТПУ оборудован системой противопожарной защиты, что в случае возникновения ЧС обеспечит безопасную и быструю эвакуацию людей из здания.

Выводы по разделу

Благодаря выявленным вредным и опасным производственным факторам (повышенный шум, воздействие электромагнитного поля, микроклимат, освещение, поражение электрическим током, пожар) появилась возможность сделать научно-исследовательский процесс максимально безопасным для всех задействованных в нем лиц. Вместе с выявленными неблагоприятными производственными факторами были определены меры и мероприятия, которые призваны обеспечивать безопасность на рабочем месте и препятствовать возникновению чрезвычайных ситуаций, получению производственных травм. К мерам, обеспечивающим безопасность, относятся: применение специальных защитных средств, при работе с экспериментальным стендом, правильная компоновка рабочего места исследователя, соблюдение норм пожарной безопасности и соответствующих мер предосторожности в рабочей зоне.

Производственное освещение является одной из важных составляющих комфортных условий работы, поскольку достаточная освещенность позволяет сохранять зрительные органы в тонусе и избегать быстрого переутомления. На рабочем месте исследователя-разработчика нормы освещенности и качественные показатели освещения соблюдаются. В качестве источника

искусственного освещения применяются люминесцентные лампы необходимой для помещения мощности, также имеется дополнительное естественное освещение от окон.

Также была выявлена наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время рабочего процесса – короткое замыкание и как следствие пожар. Поэтому появилась необходимость в разработке мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций с указанием плана эвакуации с рабочего места.

Conclusion

The main goal of my work was to provide electricity to a house inaccessible to the central power supply system. The objectives of this work were the design of various power supply options and the choice of the optimal one. Also, my goals were to reduce environmental impact factors and to calculate the economic efficiency of the cottage's electricity supply using renewable energy sources.

The main result of this work is a developed algorithm for the optimal design of a decentralized power supply system. The created model takes into account a very wide range of factors, trying to assess the main possible risks and problems associated with the problem of building a power supply system. However, this complexity is close to real situations when the designer is faced not only with technical obstacles when creating a new generating unit.

I looked at five different scenarios with different financing options. 5 wind generators; 3 wind generators and 70 solar panels; 1 wind generator and 1 gasoline generator; 70 solar panels and a gasoline generator; 1 wind generator, 70 solar panels and one gasoline generator. Among these options, from my point of view, it was necessary to choose an option that is reliable enough, but at the same time the most economically profitable, with minimal dependence on the price of fuel.

The result of the presented algorithm is a project ready for implementation, with economic indicators calculated for it and an analysis of possible risks, such as changes in fuel prices, changes in interest rates on loans, etc. The resulting project consists of one wind generator “Condor Air” 30 kW, 70 PV cells “Exmork FSM-300M” and one gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE” 16 kW. From the decision-making part, I would note that the most suitable financing option for me is a bank loan. The decisive factor for me, from a consumer point of view, was the value of the initial investment cost.

It should be noted that all the work I have done is based on statistical data, such as wind speeds, solar radiation, electricity consumption. All these data will be

well suited for the average cottage, in weather conditions that do not deviate from the norm. However, if against the weather anomalies there is an energy source independent of the weather conditions, as well as rechargeable batteries, in order to store energy, then no one is safe from force majeure situations, such as the financial and economic crisis, the epidemic, the sledges against the state, which is very strongly affects inflation, component prices, interest rates, gasoline prices, etc.

The last, but not least factor is the subsidization of alternative energy by the government. Unfortunately, currently in Russia there are no such subsidies and there are no prerequisites for them to appear. It only remains to hope for an improvement in the situation regarding alternative energy, because for many people this will be the decisive factor.

References

- [1]. International Energy Agency “IEA”, [Online] Available: <https://www.iea.org/topics/renewables/> [Accessed 1 November 2019]
- [2]. International Renewable Energy Agency “Wind energy”, [Online] Available: <https://www.irena.org/wind> [Accessed 1 November 2019]
- [3]. Official web-site of Vertikos settlement “Geograficheskoe polozhenie i prirodno-klimaticheskie usloviya”, [Online], Available: <http://vertikos.tomsk.ru/geografiya.html> [Accessed 28 October 2019]
- [4]. National portal – “nature of Russia”, [Online], Available: http://priroda.ru/regions/climate/detail.php?SECTION_ID=&FO_ID=583&ID=7053. [Accessed 28 October 2019]
- [5]. Klimat Tomska. Pod red. Pilnikovoi Z.N. L., GIDROMETIZDAT, 1982.
- [6]. Azmuka T.I. Klimat pochv srednego priobya. Novosibirsk: Nauka, 1986.
- [7]. Sistemy elektrosnabzheniya s vetrovymi i solnechnymi elektrostanciyami: uchebnoe posobie/ B.V. Lukutin, I.O. Muravlev, I.A. Plotnikov – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015. – 128s.
- [8]. Weather in the world „Weather archive in Bogashevo“, [Online], Available: [https://rp5.ru/Weather_archive_in_Bogashevo_\(airport\),_METAR](https://rp5.ru/Weather_archive_in_Bogashevo_(airport),_METAR). [Accessed 14 April 2019]
- [9]. British Petroleum “BP”, [Online] Available: <http://bp.com> [Accessed 1 November 2019]
- [10]. Solar Systems “For society” , [Online] Available: <http://en.solarsystems.msk.ru/society/> [Accessed 8 November 2019]
- [11]. Akimova T.A., Kuzmin A.P., Haskin V.V. Ekologiya. Priroda - Chelovek - Tekhnika: Uchebnik dlya vuzov. - M.: YUNITI-DANA, 2001. – 343 s.
- [12]. ALDO V. DA ROSA, Fundamentals of renewable energy processes. London. Elsevier Inc. 2009
- [13]. Time and Date “Sunrise and sunset times in Tomsk”, [Online], Available: <https://www.timeanddate.com/sun/russia/tomsk> [Accessed 15 November 2019]

- [14]. Solcast API Toolkit “Solar Radiation Data”, [Online], Available: <https://toolkit.solcast.com.au/> [Accessed 15 November 2019]
- [15]. Lukutin B.V. Vozobnovlyaemye istochniki energii: uchebnoe posobie – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008.- 87 s.
- [16]. RusHydro “Hydropower in Russia”, [Online], Available: <http://www.eng.rushydro.ru/industry/history> [Accessed 26 November 2019]
- [17]. World Energy Council 2007. “2007 Survey of Energy Resources”
- [18]. Ministerstvo energetiki Rossijskoj Federacii “Osnovnye harakteristiki rossijskoj elektroenergetiki” , [Online], Available: <https://minenergo.gov.ru/node/532> [Accessed 26 November 2019]
- [19]. G.A. Gelman, G.S. Karlov, V.V. Kryuchkov, V.E. Eremeev, V.F. Panov, S.A. Petrakovskaya, A.G. Pentelkov, YA.L. Tudorovskij. Tekhnicheskaya kollekcija Schneider Electric “Vypusk No. 11. Proektirovanie elektroustanovok kvartir s uluchshennoj planirovkoj i kottedzhej” 10/2007.
- [20]. TCIP “Obzor vertikalnogo vetrogeneratora Briz”, [Online], Available: <https://tcip.ru/blog/wind/vertikalnye-vetrogeneratory-briz-preimushhestva-i-nedostatki.html> [Accessed 7 December 2019]
- [21]. DON-VIGA “Vetro-solnechnaya elektrogeneratornaya ustanovka Bekar”, [Online], Available: <http://donviga.ru/vetrogeneratori.html> [Accessed 7 December 2019]
- [22]. Shanghai StarCreation Group “Wind & Solar Hybrid Power Generation Systems (On-Grid/Off-Grid)”, [Online], Available: <http://www.shstarcreation.com/52/i-727.html> [Accessed 7 December 2019]
- [23]. Khatib T., Mohamed, A., Sopian, K., Mahmoud, M. Optimal sizing of building-integrated hybrid PV/diesel generator system for zero load rejection for Malaysia. Energy and Buildings.
- [24]. Green technology group “Condor Air 30”, [Online], Available: <https://greentec-group.ru/catalog/vetrogenerator/vetrogenerator-condor-air/vetrogenerator-30-kvt/> [Accessed 29 December]
- [25]. Internet magazin 50 Gerts “Exmork FSM-300M Monokristallicheskiy solnechnyy modul 300 W, 24V”, [Online], Available: https://50-hz.ru/solar_panels/exmork/exmork300.html [Accessed: 11 January]

[26]. EUROPOWER Generators “Product details EP20000TE – 957001803” [Online], Available: https://www.europowergenerators.com/index.php?option=com_content&view=article&Itemid=229&id=377&productsheet=957001803&lang=en [Accessed: 14 January].

[27]. ENF Solar “DT Series GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd” [Online], Available: <https://www.enfsolar.com/pv/inverter-datasheet/10988> [Accessed: 14 January].

[28]. Delta Battery “Akkumulyatornaya batareya Delta DTM 12250 I (12V / 250Ah)” [Online], Available: <https://www.delta-battery.ru/catalog/dtm-i/delta-dtm-12250-i/> [Accessed: 14 January]

[29]. R. A. Brealey, S. C. Myers, and F. Allen, Principles of Corporate Finance, 10th ed. McGraw Hill/Irwin, 2010

[30]. Investopedia “Inflation”, [Online], Available: <https://www.investopedia.com/terms/i/inflation.asp> [Accessed: 20 March]

[31]. Bankirsha.com “Uroven Inflyatsii v Rossii (po godam)”, [Online], Available: <https://bankirsha.com/uroven-inflyatsii-v-rossiyskoy-federatsii-po-godam.html> [Accessed: 20 March]

[32]. Yandex News “Dinamika roznicnykh tsen na benzin AI-92 v rublyakh dlya Rossii”, [Online], Available: <https://yandex.ru/news/quotes/213/20001.html> [Accessed: 24 March]

[33]. Investopedia “Interest Rate”, [Online], Available: <https://www.investopedia.com/terms/i/interestrate.asp> [Accessed: 1 April]

[34]. Banki.ru “Potrebitel'skiye kredity v Rossii”, [Online], Available: https://www.banki.ru/products/credits/?amount=5000000&applicationReviewPeriod3DaysMax=0&borrowerType=0¤cy=RUB&order=desc&period=20y&purpose=0&sort=popular&top_hundred_place=0&withoutCollateral=0&withoutIncomeRequirement=0&withoutInsurance=0 [Accessed: 14 April]

[35]. Investopedia “Discount Rate”, [Online], Available: <https://www.investopedia.com/terms/d/discountrate.asp> [Accessed: 14 April]

[36]. Banki.ru “Kupit obligatsii”, [Online], Available: <https://www.banki.ru/investment/search/> [Accessed: 14 April]

- [37]. Analiz finansovogo sostoyaniya predpriyatiya “Analiz chuvstvitelnosti investitsionnogo proyekta”, [Online], Available: https://afdanalyse.ru/publ/investicionnyj_analiz/1/analiz_chuvstvitelnosti/6-1-0-47 [Accessed: 1 May]
- [38]. Graphpad “Difference between ordinal, interval and ratio variables”, [Online], Available: <https://www.graphpad.com/support/faq/what-is-the-difference-between-ordinal-interval-and-ratio-variables-why-should-i-care/> [Accessed: 1 May]
- [39]. Multiple Criteria Decision Making by Multiobjective Optimization: A Toolbox / Ignacy Kaliszewski, Janusz Miroforidis, Dmitriy Podkopaev, - Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016.
- [40]. VOLT “lumens to watts conversion: choose the right led replacement bulb” , [Online], Available: <https://www.voltlighting.com/article-watts-or-lumens-how-to-choose-the-right-led-bulb-replacement/p/article-watts-or-lumens#:~:text=Sometimes%20the%20term%20%22luminous%20efficacy,about%2060%20lumens%20per%20watt.> [Accessed: 9 May]
- [41]. TEPLODAR “Kak raschitat moschnost tverdotoplivnyh kotlov otopleniya” , [Online], Available: <https://www.teplodar.ru/help/articles/detail/kak-rasschitat-moshchnost-kotlov-na-tvyerdom-toplive/> [Accessed: 14 May]
- [42]. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.;
- [43]. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020);
- [44]. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ Минтруда России от 24 июля 2013 г. №328н);
- [45]. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (1 октября 1996 г. N 21);
- [46]. СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;

- [47]. Чекалин Н. А. Охрана труда в электротехнической промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1984. — 272 с., ил.;
- [48]. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;
- [49]. А.А. Дрейер, А.Н. Сачков, К.С. Никольский, Ю.И. Маринин, А.В. Миронов. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка, 1997 г.;
- [50]. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности;
- [51]. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Appendices

Appendix 1 – Winter solar radiation values for 1 m² based on data from [14]

Time	Sun angle, ϕ , deg	λ , kW/m ²	P, kW/m ²
9:00 – 9:33	0	0	0
9:33 – 10:00	10,6346	0,1005	0,0151
10:00 – 11:00	34,2670	0,2444	0,0367
11:00 – 12:00	57,8993	0,3612	0,0542
12:00 – 13:00	81,5317	0,4381	0,0657
13:00 – 14:00	105,1641	0,4666	0,0700
14:00 – 15:00	128,7965	0,4434	0,0665
15:00 – 16:00	152,4289	0,2581	0,0387
16:00 – 17:00	176,0613	0,1164	0,0175
17:00 – 17:10	180	0,0234	0,0035
17:10 – 18:00	0	0	0
Total			0,3678

Appendix 2 – Spring solar radiation values for 1 m² based on data from [14]

Time	Sun angle, ϕ , deg	λ , kW/m ²	P, kW/m ²
6:00-6:53	0	0	0
6:53-7:00	1,6092	0,0875	0,0131
7:00-8:00	15,4023	0,2209	0,0331
8:00-9:00	29,1954	0,3422	0,0513
9:00-10:00	42,9885	0,4448	0,0667
10:00 - 11:00	56,7816	0,5230	0,0785
11:00 - 12:00	70,5747	0,5725	0,0859
12:00 - 13:00	84,3678	0,5908	0,0886
13:00 - 14:00	98,1609	0,5766	0,0865
14:00 - 15:00	111,9540	0,5309	0,0796
15:00 - 16:00	125,7471	0,4561	0,0684
16:00 - 17:00	139,5402	0,3563	0,0534
17:00-18:00	153,3333	0,2370	0,0356
18:00-19:00	167,1264	0,1047	0,0157
19:00-19:56	180	0	0
Total			0,7565

Appendix 3 – Summer solar radiation values for 1 m² based on data from [14]

Time	Sun angle, φ , deg	λ , kW/m ²	P, kW/m ²
4:00-4:51	0,0000	0,0000	0,0000
4:51 - 5:00	1,5851	0,0571	0,0086
5:00 - 6:00	12,1526	0,1213	0,0182
6:00 - 7:00	22,7202	0,1815	0,0272
7:00-8:00	33,2877	0,2142	0,0321
8:00-9:00	43,8552	0,2981	0,0447
9:00-10:00	54,4227	0,4020	0,0603
10:00 - 11:00	64,9902	0,4886	0,0733
11:00 - 12:00	75,5577	0,5543	0,0831
12:00 - 13:00	86,1252	0,5963	0,0894
13:00 - 14:00	96,6928	0,6127	0,0919
14:00 - 15:00	107,2603	0,6029	0,0904
15:00 - 16:00	117,8278	0,5672	0,0851
16:00 - 17:00	128,3953	0,4256	0,0638
17:00-18:00	138,9628	0,3257	0,0489
18:00-19:00	149,5303	0,2118	0,0318
19:00 - 20:00	160,0978	0,1240	0,0186
20:00 - 21:00	170,6654	0,0880	0,0132
21:00 - 21:53	180,0000	0,0500	0,0075
Total			0,8882

Appendix 4 – Autumn solar radiation values for 1 m² based on data from [14]

Time	Sun angle, φ , deg	λ , kW/m ²	P, kW/m ²
7:00-7:24	0,0000	0,0000	0,0000
7:24-8:00	9,3642	0,0443	0,0066
8:00-9:00	24,9711	0,1553	0,0233
9:00-10:00	40,5780	0,2543	0,0381
10:00 - 11:00	56,1850	0,3315	0,0497
11:00 - 12:00	71,7919	0,3811	0,0572
12:00 - 13:00	87,3988	0,3988	0,0598
13:00 - 14:00	103,0058	0,3832	0,0575
14:00 - 15:00	118,6127	0,3356	0,0503
15:00 - 16:00	134,2197	0,2599	0,0390
16:00 - 17:00	149,8266	0,1625	0,0244
17:00-18:00	165,4335	0,0516	0,0077
18:00-18:56	180,0000	0,0070	0,0011
Total			0,4148

Appendix 5 – Hour coefficient for winter and summer season [19]

Hour	Season	
	Winter	Summer
1	0,25	0,15
2	0,25	0,15
3	0,25	0,15
4	0,25	0,15
5	0,25	0,175
6	0,35	0,21
7	0,50	0,28
8	0,60	0,31
9	0,40	0,28
10	0,30	0,21
11	0,35	0,21
12	0,40	0,21
13	0,30	0,24
14	0,30	0,21
15	0,30	0,21
16	0,30	0,21
17	0,40	0,21
18	0,70	0,21
19	1,00	0,25
20	0,95	0,28
21	0,70	0,5
22	0,50	0,7
23	0,35	0,42
24	0,30	0,18

Appendix 6 – Hour coefficient for winter and summer period

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8
Winter	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,5	0,6
Summer	0,15	0,15	0,15	0,15	0,175	0,21	0,28	0,31
Hour	9	10	11	12	13	14	15	16
Winter	0,4	0,3	0,3	0,35	0,4	0,3	0,3	0,3
Summer	0,28	0,21	0,21	0,21	0,24	0,21	0,21	0,21
Hour	17	18	19	20	21	22	23	24
Winter	0,4	0,7	1	0,95	0,7	0,5	0,35	0,3
Summer	0,21	0,21	0,25	0,28	0,5	0,7	0,42	0,18

Appendix 7 – Wind generator “Condor Air” 30 kW [24]

Wind wheel diameter	13 m
Blade height	6 m
Nominal RPM	35-40
Output voltage	170-240 V
Nominal power	30 kW
Maximum power	32 kW
Starting wind speed	2,5 m/sec
Nominal wind speed	9 m/sec
Operational wind speed	3 - 20 m/sec
Hurricane protection	Automatic
Automatic wind orientation	Yes
Tower height	20 m
Weight without tower	1730 kg
Blades quantity	3
Wind energy utilization	>0,42
Generator type	Three phase permanent-magnet generator
Generator frequency	0 - 50 Hz
Output current	Alternating
Nominal current	100 A
Maximum current	110 A
Inverter type	Optional
Recommended Battery Quantity	20/40
Recommended Battery Capacity	150/200 A*hour
Conversion system efficiency	>0,85
Noise level	45 dB
Wind speed limit	35 m/sec
Basic equipment	
Tower	1 unit
Generator	1 unit
Rotor	1 unit
Blades	Set
Fasteners	Set
Controller	1 unit
Technical certificate	1 unit
Cost	26000 EUR
Lifetime	20 years

Appendix 8 – Solar module “Exmork FSM-300M” technical specification [25]

Electrical parameters	
Maximum power, W	300
On-load voltage, V	36
Off-load voltage, V	43,15
On-load current, V	8,33
Short circuit current, A	9,14
Maximum off-load voltage of PV array, V	1000
Efficiency, %	17,4
Operational parameters	
Sizes (LxWxH), mm	1956x992x45
Weight, kg	23
Quantity of elements	72 (12x6)
Solar cells	Grade A, monocrystal
Cell size, mm	156x156
Type of cable connectors	MC4
Shell protection	Anodized aluminum frame, tempered anti-reflective glass
Operating and storage temperature, ° C	-40 +80 °C
Protection level	IP 65
Cost	256 EUR
Lifetime	20 years

Appendix 9 – Gasoline generator “EUROPOWER EP20000TE” technical specification [26]

<u>Generator</u>	
kVA max.	20
kVA cont.	18
kVA @ 1~230V	6
kVA @ 3~400V	18
kW max.	16
Amps cont. @ 1~230V	26A
Amps cont. @ 3~400V	26A
Dimensions l x w x h	100 x 64 x 72cm
Weight incl. oil (+ coolant if water-cooled), excl. fuel	213kg
Weight incl. oil (+ coolant if water-cooled) + fuel	244kg
<u>Engine</u>	
Brand/Type	B&S Vanguard 543477 1142 J1-14051512
HP max.	28
kW max.	21
rpm	3000
Cylinder	2
Fuel	Gasoline
EU Emission norm	Stage V
Cooling	Air-cooled
Displacement	895cm ³
Consumption @75% load	7 litres/hour
Tank	41 litres
Autonomy @75% load	5.9 hours
Noise level	79 dB(A)@7m
<u>Alternator</u>	
Brand/Type	Sincro GT2MAS ~ with brushes
Nominal voltage	3~400V and 1~230V
Frequency	50Hz
Protection degree	IP23
Lifetime	20 years

Appendix 10 – Inverter “GoodWe DT series 25 kW” technical specification [27]

Input Data(DC)	
Max. DC Power	32.5 kW
Max. DC Voltage	1000 V
Nominal DC Voltage	620 V
Min. DC Voltage to Start Feed In	250 V
Max. DC Current	27 A
MPP(T) Voltage Range	260~850 V
No of MPP Trackers	2
DC Inputs	6
Output Data (AC)	
Max. AC Power	25 kW
Nominal AC Power	25 kW
Nominal AC Voltage	400 V
Max. AC Current	37 A
Frequency	50, 60 Hz
Power Factor (cos θ)	1
Distortion (THD)	< 1.5 %
No of feed-in phases	3
Max. Efficiency	98.40%
Euro Efficiency	98.10%
General Data	
Dimensions (H/W/D)	650x516x203 mm
Weight	40 kg
Power Consumption at Night	< 1 W
Noise Level	< 45 dB(A)
Operating Temperature	-25 ~ +60 °C
Transformer	Transformerless
Humidity	0-100 %
Cooling	Fan
Max. Altitude	4000 m
Interface	RS 485, WLAN
Display	LCD, LED
Protection Features	
Protection Features	Anti Island Protection(ENS), Overvoltage Protection, Overcurrent Protection, Residual Current Device (RCD), Reverse Polarity Protection
Lifetime	20 years

Appendix 11 – NPV Calculations for Scenarios 1 – 4

Scenario 1																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Investment																					
Wind gene	130000																				
Inverter	3500																				
Batteries	17500										21332.4										
Delivery	500																				
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Installation	2500																				
Other	3000																				
CF	-157000	-1000	-1067	-1138.49	-1214.77	-1296.16	-1383	-1475.66	-1574.53	-1680.02	-23125	-1912.69	-2040.84	-2177.57	-2323.47	-2479.14	-2645.25	-2822.48	-3011.59	-3213.36	-3428.66
DCF	-157000	-925.926	-914.781	-903.769	-892.891	-882.143	-871.524	-861.034	-850.67	-840.43	-10711.3	-820.319	-810.445	-800.69	-791.052	-781.53	-772.122	-762.828	-753.646	-744.575	-735.612
																					NPV
																					-183427.33
Scenario 2																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Loan payment		19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37	19715.37
Batteries													22194.23								
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
CF		-20715.4	-20782.4	-20853.9	-20930.1	-21011.5	-21098.4	-21191	-21289.9	-21395.4	-21508	-21628.1	-43950.4	-21892.9	-22038.8	-22194.5	-22360.6	-22537.9	-22727	-22928.7	-23144
DCF		-19180.9	-17817.5	-16554.5	-15384.3	-14300.1	-13295.6	-12364.8	-11502.3	-10703	-9962.35	-9275.91	-17453.3	-8049.99	-7503.37	-6996.64	-6526.85	-6091.28	-5687.4	-5312.86	-4965.51
																					NPV
																					-218928.39
Scenario 3																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Wind gene	26000																				
Gasoline g	6000																				
Inverter	3500																				
Batteries	17500										21332.4										
Delivery	500																				
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Installation	1000																				
Fuel		5342.7	5716.689	6116.857	6545.037	7003.19	7493.413	8017.952	8579.209	9179.753	9822.336	10509.9	11245.59	12032.78	12875.08	13776.33	14740.68	15772.53	16876.6	18057.96	19322.02
Other	3000																				
CF	-57500	-6342.7	-6783.69	-7255.35	-7759.8	-8299.35	-8876.41	-9493.61	-10153.7	-10859.8	-32947.3	-12422.6	-13286.4	-14210.4	-15198.6	-16255.5	-17385.9	-18595	-19888.2	-21271.3	-22750.7
DCF	-57500	-5872.87	-5815.92	-5759.53	-5703.69	-5648.4	-5593.65	-5539.43	-5485.75	-5432.59	-15261	-5327.83	-5276.22	-5225.12	-5174.51	-5124.4	-5074.79	-5025.65	-4977	-4928.82	-4881.12
																					NPV
																					-174628.28
Scenario 4																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Loan payment		7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599	7220.599
Batteries											21332.4										
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Fuel		5342.7	5716.689	6116.857	6545.037	7003.19	7493.413	8017.952	8579.209	9179.753	9822.336	10509.9	11245.59	12032.78	12875.08	13776.33	14740.68	15772.53	16876.6	18057.96	19322.02
CF		-13563.3	-14004.3	-14475.9	-14980.4	-15519.9	-16097	-16714.2	-17374.3	-18080.4	-40167.9	-19643.2	-20507	-21431	-22419.2	-23476.1	-24606.5	-25815.6	-27108.8	-28491.9	-29971.3
DCF		-12558.6	-12006.4	-11491.5	-11011	-10562.6	-10143.8	-9752.58	-9386.81	-9044.69	-18605.5	-8424.63	-8143.62	-7880.12	-7632.85	-7400.64	-7182.41	-6977.16	-6783.95	-6601.92	-6430.28
																					NPV
																					-188021.19

Appendix 12 – NPV Calculations for Scenarios 5 – 8

Scenario 5																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Wind gene	78000																				
PV cells	17920																				
Inverter	3500																				
Batteries	17500										21332.4										
Delivery	500																				
Installation	2000																				
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Other	3000																				
CF	-122420	-1000	-1067	-1138.49	-1214.77	-1296.16	-1383	-1475.66	-1574.53	-1680.02	-23125	-1912.69	-2040.84	-2177.57	-2323.47	-2479.14	-2645.25	-2822.48	-3011.59	-3213.36	-3428.66
DCF	-122420	-925.926	-914.781	-903.769	-892.891	-882.143	-871.524	-861.034	-850.67	-840.43	-10711.3	-820.319	-810.445	-800.69	-791.052	-781.53	-772.122	-762.828	-753.646	-744.575	-735.612
																					NPV
																					-148847.33
Scenario 6																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Loan payment		15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97	15372.97
Batteries																					
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
CF		-16373	-16440	-16511.5	-16587.7	-16669.1	-16756	-16848.6	-16947.5	-17053	-38498	-17285.7	-17413.8	-17550.5	-17696.4	-17852.1	-18018.2	-18195.4	-18384.6	-18586.3	-18801.6
DCF		-15160.2	-14094.6	-13107.3	-12192.5	-11344.7	-10559.1	-9831.01	-9156.21	-8530.74	-17832	-7413.52	-6915.26	-6453.3	-6024.95	-5627.73	-5259.35	-4917.66	-4600.72	-4306.68	-4033.86
																					NPV
																					-177361.41
Scenario 7																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PV cells	17920																				
Gasoline g	6000																				
Inverter	3500																				
Batteries	17500										21332.4										
Delivery	500																				
Installation	1000																				
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Fuel		3856.6	4126.562	4415.421	4724.501	5055.216	5409.081	5787.717	6192.857	6626.357	7090.202	7586.516	8117.572	8685.802	9293.808	9944.375	10640.48	11385.31	12182.29	13035.05	13947.5
Other	3000																				
CF	-49420	-4856.6	-5193.56	-5553.91	-5939.27	-6351.37	-6792.08	-7263.38	-7767.39	-8306.38	-30215.2	-9499.2	-10158.4	-10863.4	-11617.3	-12423.5	-13285.7	-14207.8	-15193.9	-16248.4	-17376.2
DCF	-49420	-4496.85	-4452.64	-4408.87	-4365.54	-4322.64	-4280.16	-4238.11	-4196.48	-4155.26	-13995.5	-4074.05	-4034.04	-3994.44	-3955.23	-3916.41	-3877.98	-3839.93	-3802.25	-3764.95	-3728.02
																					NPV
																					-141319.34
Scenario 8																					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Loan payment		6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948	6205.948
Batteries																					
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656
Fuel		3856.6	4126.562	4415.421	4724.501	5055.216	5409.081	5787.717	6192.857	6626.357	7090.202	7586.516	8117.572	8685.802	9293.808	9944.375	10640.48	11385.31	12182.29	13035.05	13947.5
CF		-11062.5	-11399.5	-11759.9	-12145.2	-12557.3	-12998	-13469.3	-13973.3	-14512.3	-36421.1	-15705.2	-16364.4	-17069.3	-17823.2	-18629.5	-19491.7	-20413.7	-21399.8	-22454.4	-23582.1
DCF		-10243.1	-9773.24	-9335.35	-8927.1	-8546.3	-8190.96	-7859.22	-7549.36	-7259.78	-16870	-6735.67	-6498.51	-6276.36	-6068.11	-5872.79	-5689.43	-5517.2	-5355.28	-5202.95	-5059.5
																					NPV
																					-152830.25

Appendix 12 – NPV Calculations for Scenarios 9 and 10

Scenario 9																						
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Wind gene	26000																					
PV cells	17920																					
Gasoline g	6000																					
Inverter	3500																					
Batteries	17500										21332.4											
Delivery	500																					
Installation	2000																					
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656	
Fuel		739.2	790.944	846.3101	905.5518	968.9404	1036.766	1109.34	1186.994	1270.083	1358.989	1454.118	1555.907	1664.82	1781.357	1906.052	2039.476	2182.239	2334.996	2498.446	2673.337	
Other	3000																					
CF	-76420	-1739.2	-1857.94	-1984.8	-2120.32	-2265.1	-2419.77	-2585	-2761.52	-2950.11	-24484	-3366.81	-3596.74	-3842.39	-4104.83	-4385.2	-4684.72	-5004.72	-5346.58	-5711.81	-6101.99	NPV
DCF	-76420	-1610.37	-1592.89	-1575.6	-1558.5	-1541.59	-1524.86	-1508.32	-1491.97	-1475.79	-11340.8	-1443.97	-1428.32	-1412.84	-1397.53	-1382.4	-1367.43	-1352.62	-1337.98	-1323.49	-1309.17	-115396.44

Scenario 10																						
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Loan payment		9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	9596.49	
Maintenance		1000	1067	1138.489	1214.768	1296.157	1383	1475.661	1574.53	1680.023	1792.585	1912.688	2040.838	2177.575	2323.472	2479.145	2645.247	2822.479	3011.585	3213.361	3428.656	
Fuel		739.2	790.944	846.3101	905.5518	968.9404	1036.766	1109.34	1186.994	1270.083	1358.989	1454.118	1555.907	1664.82	1781.357	1906.052	2039.476	2182.239	2334.996	2498.446	2673.337	
Batteries											21332.4											
CF		-11335.7	-11454.4	-11581.3	-11716.8	-11861.6	-12016.3	-12181.5	-12358	-12546.6	-34080.5	-12963.3	-13193.2	-13438.9	-13701.3	-13981.7	-14281.2	-14601.2	-14943.1	-15308.3	-15698.5	NPV
DCF		-10496	-9820.33	-9193.6	-8612.2	-8072.8	-7572.28	-7107.78	-6676.65	-6276.42	-15785.9	-5559.74	-5239.22	-4941.45	-4664.77	-4407.61	-4168.55	-3946.25	-3739.49	-3547.12	-3368.08	-133196.2